

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

VICTOR TORRES SPINOLA

Mapeamento da vulnerabilidade natural dos carstes do município
de Simão Dias, Sergipe.

São Cristóvão/SE

2018

VICTOR TORRES SPINOLA

Mapeamento da vulnerabilidade natural dos cartes do município de
Simão Dias, Sergipe.

Trabalho de conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Geologia
da Universidade Federal de Sergipe para
obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José Batista Siqueira.

Coorientador: Fabrício Passos Fortes

São Cristóvão/SE

2018

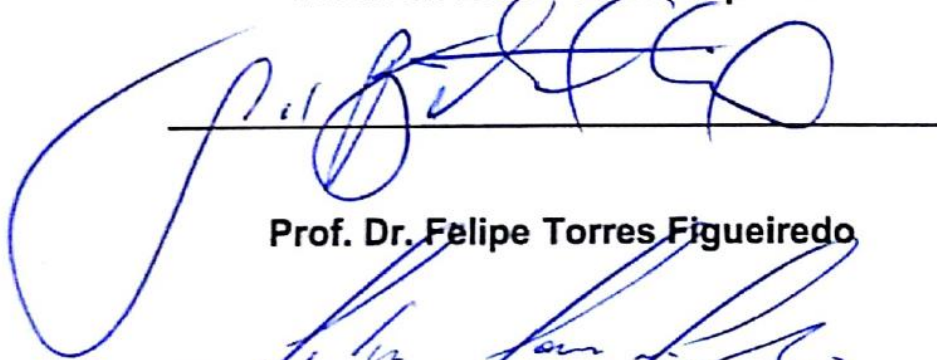
Mapeamento da vulnerabilidade natural dos carstes do município
de Simão Dias, Sergipe.

Victor Torres Spinola

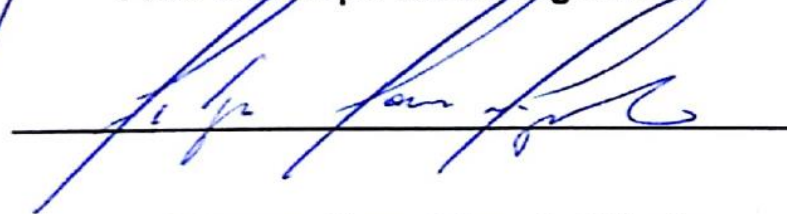
Trabalho de conclusão de curso aprovado em 7 de fevereiro de 2018

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Batista Siqueira



Prof. Dr. Felipe Torres Figueiredo



Geol. Bruno Alves Silva de Oliveira



A vida é uma grande estrada, com várias placas.
Então, quando estiver seguindo pelas rotas, não
complique a sua mente: Fuja do ódio, ofensa e
inveja! Não enterre seus pensamentos! Coloque
sua visão na realidade! Acorde e viva!

(Bob Marley)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus;

Aos meus pais, Carlos e Gizelda, pelo apoio, estrutura e pelo amor;

À minha namorada, Aline, pelo amor, paciência, carinho e companheirismo;

Aos colegas de curso pela companhia nestes 5 anos. Um agradecimento especial aos amigos Nórdicos, amigos que levarei para toda a vida;

Aos professores, pelos ensinamentos passados. Um agradecimento especial ao professor José Siqueira, pela orientação neste trabalho;

Ao meu co-orientador Fabrício pelo apoio e ensinamentos passados;

Aos velhos amigos de longa data, pela consideração;

À Universidade Federal de Sergipe pela experiência de vida adquirida;

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo elaborar um mapa de vulnerabilidade natural do município de Simão Dias, utilizando técnicas de geoprocessamento. Este trabalho visa caracterizar as áreas onde pode ocorrer carstificação e serve como subsídio à preservação ambiental na região. O mapa foi elaborado utilizando-se da técnica de álgebra de mapas, tendo como parâmetros a litologia, o tipo de solo, a densidade de lineamentos e o uso do solo, onde cada um desses temas recebeu um peso numa média ponderada, resultando num mapa final. Para isto, foi necessária a utilização do software *ArcGis 10.1*, associado a mapas de geologia e solos e imagens de satélite. Além disso, houve controle de campo para identificação e classificação das principais estruturas em mesoescala e amostragem de pontos.

Palavras-chave: Carstificação, Vulnerabilidade, Álgebra de mapas.

ABSTRACT

The present work had as objective to create a map of natural vulnerability of the municipality of Simão Dias, using geoprocessing techniques. This work aims to characterize the areas where karstification can occur and serves as a subsidy to environmental preservation in the region. The map was elaborated using the technique of map algebra, having as parameters lithology, soil type, lineing density and land use, where each one of these subjects received a weighted average weight, resulting in a final map. For this, it was necessary to use the software ArcGis 10.1, associated with maps of geology and soils and satellite images. In addition, there was field control for identification and classification of the main mesoscale structures and point sampling.

Keywords: Karstification, Vulnerability, Map algebra.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	15
3.	OBJETIVOS.....	16
3.1	Objetivo Principal	16
3.2	Objetivos Específicos	16
4.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
4.1	Ambientes Cársticos	17
4.1.1	Geomorfologia Cárstica.....	17
4.1.2	Dissolução Química dos Carbonatos	18
4.1.3	Hidrologia no Relevo Cárstico	18
4.1.4	Feições Cársticas.....	20
4.2	Sensoriamento Remoto	24
4.2.1	Geoprocessamento	25
4.2.2	Classificação de imagem	26
4.2.3	Modelo Digital de Elevação (MDE).....	27
4.2.4	Álgebra de mapas	28
4.2.5	Lineamento Automático.....	28
5.	METODOLOGIA	29
6.	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO	36
6.1	Densidade de Lineamentos	36
6.2	Uso do Solo.....	37
6.3	Hidrologia.....	39
6.4	Pedologia	41
6.5	Geologia	43
6.5.1	Complexo Gnáissico Migmatítico - Domo de Simão Dias	43
6.5.2	Faixa de Dobramento Sergipana	44
6.6	Espeleologia	51
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
8.	CONCLUSÃO	68
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE SIGLAS

SEMARH	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SIG	Sistema de Informações Geográficas
REM	Radiação Eletromagnética
OLI	Operational Land Imager
TIRS	Thermal Infrared Sensor
MDE	Modelo Digital de Elevação
TIN	Triangular Irregular Network
ICR	Índice de Concentração de Rugosidade

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.....	15
Figura 2 – Reações químicas dos minerais carbonáticos.....	18
Figura 3 – Zonas hidrológicas do carste.....	19
Figura 4 – Feições cársticas.....	20
Figura 5 – Tipos de dolinas.....	23
Figura 6 – Ilustração demonstrando a relação Sol-Terra-Sensor.....	25
Figura 7 – Relação entre sensoriamento remoto e geoprocessamento.....	26
Figura 8 – Pontos tridimensionais e grade TIN para criação de MDE.....	28
Figura 9 – Metodologia do trabalho.....	29
Figura 10 – Parâmetros utilizados no programa Geomatica PCI.....	31
Figura 11 – Fatores utilizados para a álgebra de mapas.....	35
Figura 12 – Mapa de densidade de lineamentos do município de Simão Dias.....	37
Figura 13 – Mapa de uso do solo do município de Simão Dias.....	38
Figura 14 – Imagem de satélite utilizada como base para o mapa de uso do solo do município de Simão Dias.....	39
Figura 15 – Mapa hidrológico do município de Simão Dias.....	41
Figura 16 – Mapa pedológico do município de Simão Dias.....	43
Figura 17 – Mapa geológico do município de Simão Dias.....	50
Figura 18 – Mapa do patrimônio espeleológico do município de Simão Dias.....	51

Figura 19 – Mapa de vulnerabilidade à carstificação do município de Simão Dias.....	52
Figura 20 – Mapa de cavidades naturais e vulnerabilidade à carstificação do município de Simão Dias.....	53
Figura 21 – Mapa de cavidades naturais e geologia do município de Simão Dias.....	54
Figura 22 – Mapa de pontos onde foi realizado controle de campo.....	55
Figura 23 – Mapa de pontos onde foi realizado controle de campo associado ao mapa de vulnerabilidade à carstificação no município de Simão Dias.....	56

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Fraturas conjugadas em rocha carbonática.....	57
Foto 2 – Evidências de contato litológico.....	57
Foto 3 – Intercalação entre camadas carbonáticas e siliciclásticas.....	58
Foto 4 – Famílias de fraturas em afloramento.....	59
Foto 5 – Desenvolvimento da caverna em fratura transversal ao acamamento/foliação.....	60
Foto 6 – Camadas dobradas na parte inferior da caverna e cavidade controlada pelo acamamento/foliação.....	61
Foto 7 – Lapiás na parte inferior da caverna.....	61
Foto 8 – Antigos níveis estáticos do aquífero.....	62
Foto 9 – Rocha filítica com veios de quartzo.....	63
Foto 10 – Mirante da Serra do Cruzeiro.....	63
Foto 11 – Lapiás e fraturas conjugadas bem desenvolvidas.....	65
Foto 12 – Rocha siliciclástica em estágio menos avançado de erosão.....	65
Foto 13 – Fraturas subverticais bastante desenvolvidas.....	66
Foto 14 – Modelado cárstico do tipo abismo.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala de vulnerabilidade das rochas mais comuns.....	33
Tabela 2 – Escala de vulnerabilidade dos tipos de solo mais comuns.....	34
Tabela 3 – Escala de vulnerabilidade do Índice de Concentração da Rugosidade.....	34
Tabela 4 – Escala de vulnerabilidade do uso do solo.....	35
Tabela 5 – Ambiente deposicional e descrição litológica do Grupo Miaba.....	46
Tabela 6 – Ambiente deposicional e descrição litológica do Grupo Simão Dias.....	47
Tabela 7 – Ambiente deposicional e descrição litológica do Grupo Vaza Barris.....	48
Tabela 8 – Ambiente deposicional e descrição litológica do Grupo Estância.....	50
Tabela 9 – Cavidades naturais do município de Simão Dias-SE.....	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Mapa de Densidade de Lineamentos do Município de Simão Dias-SE.

Anexo 2 – Mapa de Uso do Solo do Município de Simão Dias-SE.

Anexo 3 – Mapa Pedológico do Município de Simão Dias-SE.

Anexo 4 – Mapa Geológico do Município de Simão Dias-SE.

Anexo 5 – Mapa de Vulnerabilidade à Carstificação do Município de Simão Dias-SE.

Anexo 6 – Mapa de pontos onde foi realizado controle de campo.

1. INTRODUÇÃO

Modelados cársticos são cenários resultantes da união de rochas com solubilidade elevada e estruturas de segundo grau que facilitam a percolação de água, agente imprescindível na modelação do carste (FORD & WILLIAMS, 1989).

Estes modelados têm como principal hospedeiro as rochas carbonáticas, devido ao alto grau de solubilidade. Estas rochas afloram em aproximadamente 7% do território nacional. Em Sergipe há três formações onde há a relevância das rochas carbonáticas: Formações Riachuelo e Cotinguiba, na bacia Sergipe-Alagoas, e Formação Olhos d'Água, na Faixa de Dobramento Sergipana, hoje denominada Sistema Orogênico Sergipano (PEREIRA et al., 2017), sendo a Formação Olhos d'Água o objeto deste estudo.

O estudo dos terrenos cársticos é relevante, pois há um aumento no número de desastres naturais relacionados aos mesmos. Além disso, há a questão ambiental, que incorre na preservação do ecossistema que surge associado.

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um mapa de vulnerabilidade dos carstes do município de Simão Dias, no extremo oeste do estado de Sergipe.

O mapa foi feito utilizando-se da técnica de álgebra de mapas, tendo como parâmetros a litologia, o tipo de solo, a densidade de lineamentos e o uso do solo (JANSEN et al., 2014), onde cada um desses temas recebeu um peso numa média ponderada, resultando num mapa final.

Para tanto, houve um prévio embasamento teórico, estudando-se a bibliografia referente à temática. Logo após, foi realizada a confecção de um banco de dados em SIG utilizando-se de dados disponibilizados em bibliografia e de imagens de satélite, estas para elaborar os mapas de drenagens e uso do solo. Por fim, foi realizada a técnica da álgebra de mapas.

Com o mapa final em mãos, aliado ao conhecimento das informações de clima, vegetação, hidrologia, geomorfologia e espeleologia, foi realizada a ratificação do resultado de escritório com um controle de campo.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O estudo foi realizado no município de Simão Dias, localizado no extremo oeste do estado de Sergipe, fazendo divisa com o estado da Bahia. O município está localizado na Faixa de Dobramento Sergipana e possui uma área de aproximadamente 560 km². Encontra-se entre as coordenadas UTM 6445228/612691 e 8829637/8796288 no quadrante 24L (Figura 1).

A partir de Aracaju o principal acesso se dá pela BR-101 Sul até a altura do km 123, seguindo então pela SE-270, sentido oeste, até o centro da cidade de Simão Dias. Na etapa de controle de campo houve o objetivo de mapear o maior território possível no município. Para tal, foram percorridas as rodovias SE-179 e SE-361, no sentido NE-SW, e acessos adjacentes às mesmas.

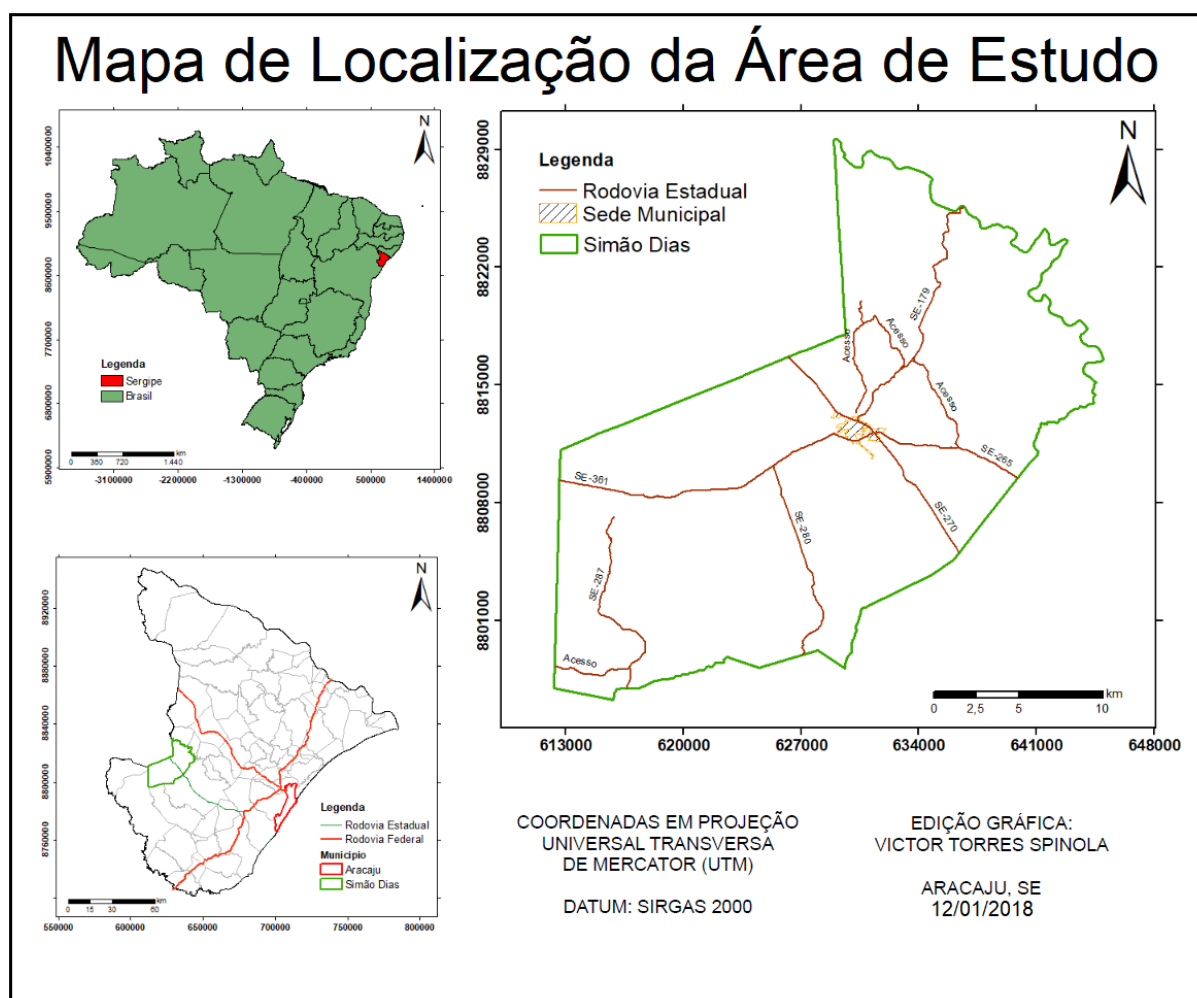


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Principal

Este estudo teve como objetivo a confecção do mapa de vulnerabilidade natural dos carstes localizados no município de Simão Dias, Sergipe. Seu principal enfoque se dá na Formação Olhos d'Água, principal formação carbonática da região. O mapa consiste em diagnosticar áreas susceptíveis à carstificação, dividindo-as em zonas de muito baixa, baixa, média, alta e muito alta vulnerabilidade (JANSEN et al., 2014).

3.2 Objetivos Específicos

Para consolidar e embasar o objetivo principal, foi realizada a caracterização de fatores que proporcionam a formação de ambientes cársticos, realizando revisão bibliográfica e tratamento de dados em SIG:

- Caracterização da hidrologia: foi gerada toda a rede de drenagens superficiais do município de Simão Dias a partir de imagens SRTM, esta rede proporciona a percolação de água, o principal agente da dissolução.

- Caracterização da geologia: foi elaborado um mapa geológico (CPRM, 1998) para o diagnóstico de formações propícias à carstificação, já que este é o principal fator.

- Caracterização da pedologia: foi elaborado um mapa pedológico (SEMARH, 2014) para o diagnóstico de regiões com solo mais ou menos estáveis, afinal é um fator fundamental para a formação do carste.

- Caracterização do uso do solo: foi elaborado o mapa de uso do solo do município, visando diagnosticar áreas onde a ação antrópica facilita ou dificulta o aparecimento de carstes.

- Caracterização da geomorfologia: a caracterização em macroescala foi realizada por meio de um mapa de densidade de lineamentos (FORTES, 2016), já

em mesoescala foi possível realizar a inferência de fatores geomorfológicos na vulnerabilidade à carstificação por meio de controle de campo

- Caracterização do patrimônio espeleológico: foi realizada a catalogação do patrimônio espeleológico do município (CENTRO DA TERRA, 2016), a fim de diagnosticar áreas onde a vulnerabilidade já é atuante e comprovar a fundamentação teórica.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Ambientes Cársticos

Derivado da região do Carso, Eslovênia, o termo carste define um tipo de modelagem geológica caracterizado pela dissolução das rochas (WHITE, 1988) e aparece associado a uma série de feições morfológicas típicas deste ambiente (PILÓ, 2000). O termo carstificação denomina uma série de fatores que geram os modelados cársticos.

4.1.1 Geomorfologia Cárstica

Estabelece-se com a associação de diferentes feições que se desenvolvem em rochas com alta solubilidade, sendo as rochas carbonáticas o principal representante, por causa da sua característica de preservação das feições ocasionadas por dissolução (CARVALHO JUNIOR *et al.*, 2008).

Apesar de ocorrer, em menor proporção, nos carbonatitos de origem ígnea, são nas rochas carbonáticas de origem sedimentar que predominam as feições cársticas (CARVALHO JUNIOR *et al. op. cit.*).

Estas feições podem ser divididas em três categorias: exocarste, que são as feições em superfície, como por exemplo uvalas, dolinas, entre outros; endocarste, que são as feições internas, como a própria caverna, estalactites, estalagmites, etc. (BOGLI, 1980); e epicarste, que são feições recobertas por matéria não consolidada (PALMER, 1991).

4.1.2 Dissolução Química dos Carbonatos

A reação de dissolução é regida pelo equilíbrio da solução aquosa que percola a rocha. Para tal, é necessário que exista concentração da água da chuva, na qual o CO₂ presente no ar soma-se ao H₂O presente na chuva e dão origem ao ácido carbônico (H₂CO₃). Este, reage com a calcita (CaCO₃) e dolomita (CaMg(CO₃)) (Figura 2).

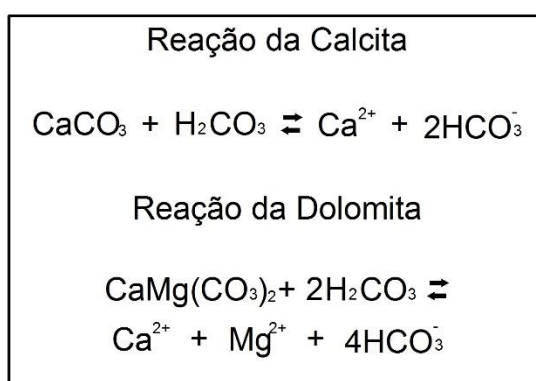


Figura 2 – Reações químicas dos minerais carbonáticos.

Fonte: MORSE & ARVIDSON, (2002).

Na figura acima, pode-se inferir que é preciso do dobro da quantidade de ácido carbônico (H₂CO₃) para dissolver 1 mol de dolomita, em relação à calcita. Assim sendo, a calcita se dissolve mais facilmente que a dolomita.

Considerando-se um sistema fechado, a dissolução das rochas carbonáticas inicia-se com uma alta taxa de solubilidade, que decresce gradativamente com o equilíbrio da reação, até atingir a saturação da solução, onde a precipitação equipara-se à dissolução. Na natureza é raro encontrar-se soluções em equilíbrio, ocorrendo, em geral, quando a água reside em microporos por um longo tempo (BILLING, 1975; MERCADO, 1977).

4.1.3 Hidrologia no Relevo Cárstico

A análise dos elementos que definem o fluxo das drenagens é de extrema importância no diagnóstico do desenvolvimento dos modelados cársticos. Em curto espaço de tempo geológico, a percolação da água faz com que haja um aumento de

largura em estruturas como falhas, planos de acamamento, fraturas, dentre outras. Desta forma, rochas que apresentam descontinuidades passam a ser zonas que propiciam circulação da água, causando dissolução no local (FORD & WILLIAMS, 1989; TRUGGILL, 1985).

Aqüíferos cársticos são formados pela dissolução nas estruturas da rocha com fluxo de água parecido com o fluxo superficial, com pouca competência de retenção (COSTA, 2009). O fluxo subterrâneo da água no modelado cárstico é exemplificado na Figura 3 é categorizada em quatro zonas, sendo estas:

- 1- Zona epicárstica ou superficial – o principal agente é o solo inconsolidado;
- 2- Zona vadosa ou superior – a água percola entre as fraturas das rochas, com fluxo majoritariamente na vertical;
- 3- Zona anfíbio ou de oscilação – região em que a variação das chuvas interfere no preenchimento por água;
- 4- Zona freática ou de saturação – área continuamente preenchida por água, demarcada pela superfície piezométrica.

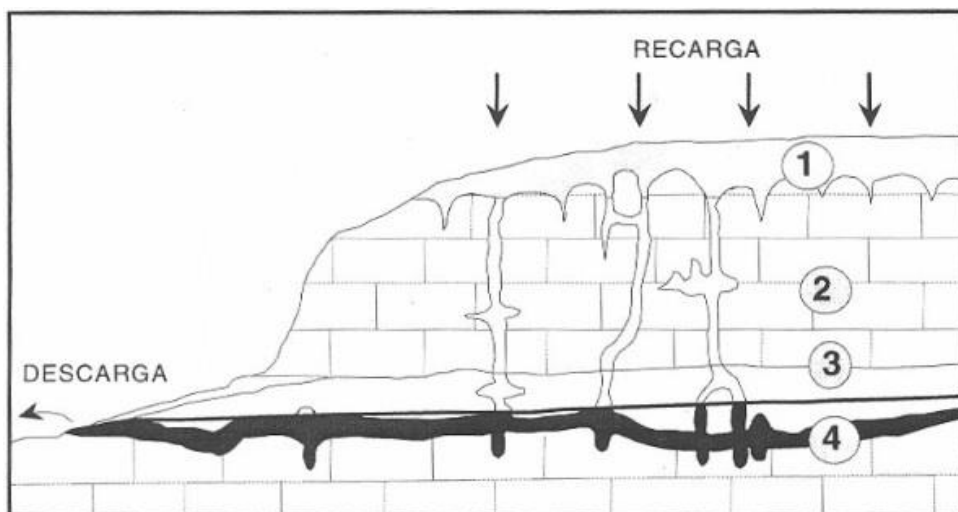


Figura 3 – Zonas hidrológicas do carste. (COSTA, 2009).

O fluxo no modelado cárstico pode ser categorizado de três formas (PILÓ, 2008):

1- Permeabilidade intergranular de rochas não fraturadas, onde a percolação de fluidos em camadas carbonáticas superiores formam os espeleotemas;

2- Permeabilidade de fraturas ou planos de fraqueza, onde essas fraturas podem evoluir para dutos;

3- Permeabilidade por dutos forma de dutos com abertura de 1 cm até algumas dezenas de metros.

4.1.4 Feições Cársticas

Feições exocársticas são formas como dolinas (Figura 4), uvalas, karrens, etc. As feições endocársticas são formas subterrâneas, tais quais cavernas e furnas, que são o objeto de estudo da espeleologia. Estas feições encontram-se exemplificadas na Figura 4.

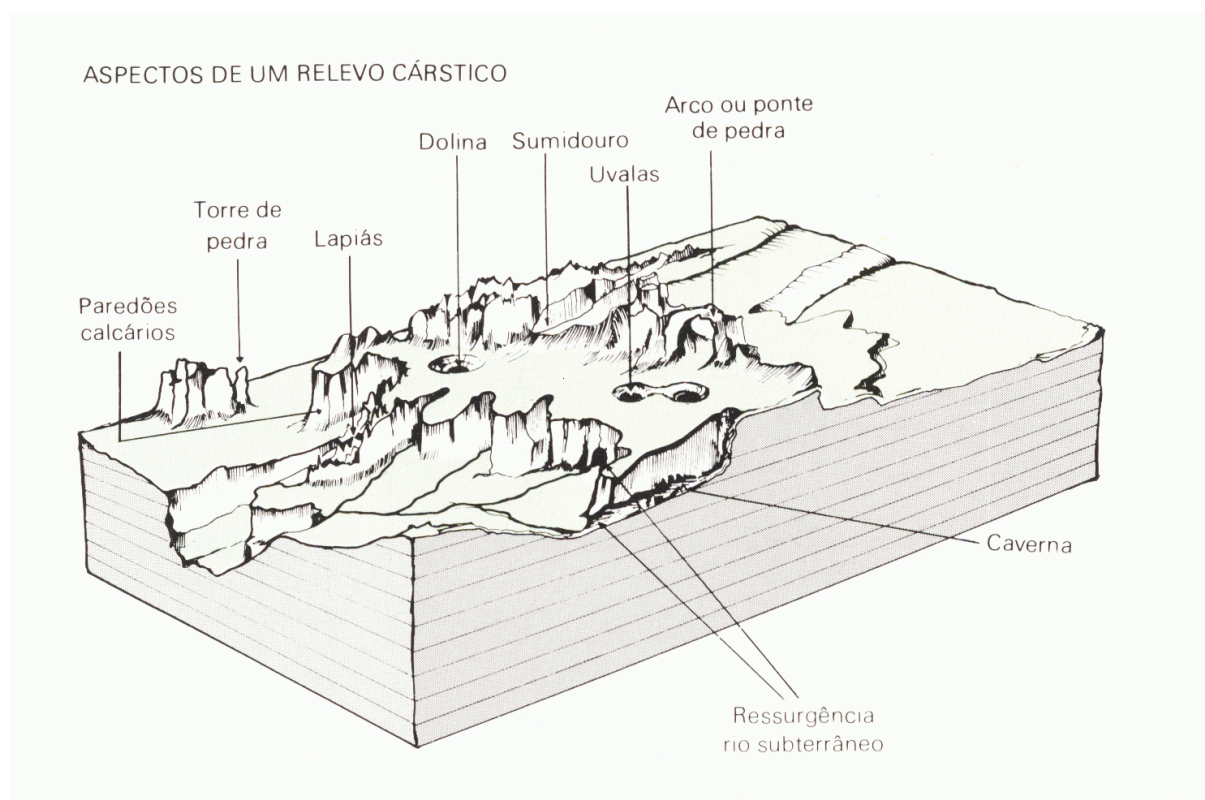


Figura 4 – Feições cársticas. Fonte: (JENNINGS, 2008).

○ Feições Fluviocársticas

Referem-se aos sumidouros, surgências e ressurgências, que estão intimamente conectados aos agentes fluviais, que, por sua vez, relacionam-se com uma corrente superficial descontínua (PILÓ, 2000). Sumidouros surgem quando o fluxo some naturalmente, ocorrendo sob a superfície. A ressurgência acontece quando há o fluxo reaparece sobre a superfície. A surgência é dada pela ocorrência de nascentes naturais.

○ Lapiás ou Karren

Feições forjadas por percolação de fluxos orientados em rochas carbonáticas, criando microestruturas em superfície podem ser chamados de forma genérica por lapiás ou karren (HARDT, 2004). Rochas menos impuras e que possuem acamamento fino têm maior aptidão para desenvolver este tipo de estrutura.

A espessura das camadas, a porosidade primária, o desenvolvimento de xistosidades e as características litológicas são fatores que colaboram para um certo tipo de karren se formar. Estes são classificados como (BOGLI, 1980):

- Karren livre: a água percola livremente sobre a superfície da rocha;
- Karren semi-exposto: acontece sobre a superfície da rocha onde coberta por pequenas porções de solo, propiciando a formação de ácido carbônico biogênico;
- Karren coberto: a rocha é toda recoberta por solo, propiciando uma intensa dissolução;
- Grikes: juntas promovidas pela corrosão;
- Karren tables: ocorrem em regiões totalmente rebaixadas por dissolução que ainda mantêm testemunhos, com blocos rochosos que indicam o antigo topo da camada de rocha carbonática;
- Surf karren: feições geradas pelo respingar ocasionado pelas das ondas em zonas carbonáticas de praia, superior ao nível do mar.

- Torres e Cones

São estruturas cársticas corriqueiramente encontradas entre os trópicos, podendo também ser chamadas de colinas residuais (HARDT, 2004). Sua altitude varia de dezenas a centenas de metros. Os cones diminuem seu diâmetro da base para o topo, já as torres possuem forma vertical.

- Arcos ou Pontes Naturais

São estruturas de gênese natural em forma de ponte. Denominam-se pontes naturais as estruturas sob onde passou ou passa um rio. Já no arco natural, há a escavação da lateral de um paredão rochoso devido à erosão. Pontes e cavernas pequenas com mais de uma entrada diferenciam-se utilizando o critério da iluminação através do vão da ponte durante o dia (HARDT op. cit).

- Dolinas

São depressões fechadas de forma redonda ou ovalada (BIGARELLA, 1996), que demonstram diversos tipos de dimensão, profundidade e forma. Dolinas são classificadas em cinco categorias (JENNINGS, 1985) e exemplificadas na Figura 5:

- Dolinas de dissolução – têm origem a partir da união de fraturas ou juntas que orientam a drenagem e a corrosão da cavidade;
- Dolinas de colapso – têm origem no desabamento do teto de uma cavidade, caracterizado por paredes muito inclinadas;
- Dolinas de subsidência – demarcada pela existência de uma camada de material superficial que colapsou para o interior da cavidade.
- Dolina de colapso de rochas subjacentes ao carste – gerada pelo solapamento de rocha carbonática sotoposta a outras litologias, causando a deposição de rochas não carbonáticas no interior da cavidade.

- Dolinas aluviais – São caracterizadas pela existência de depósitos superficiais ou solo sobre rocha carbonática. Este tipo de dolina é característico de sumidouros.

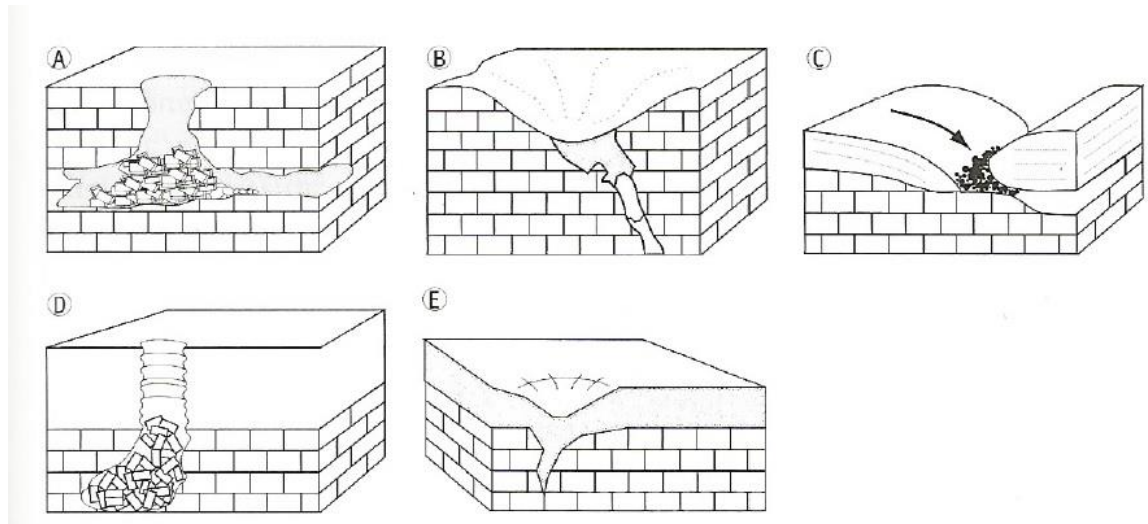


Figura 5 – Tipos de dolinas: a – de dissolução, b – de colapso, c – de subsidência, d - de colapso subjacente ao cárste, e - aluviais.

Fonte: (JENNINGS, 1985).

○ Uvalas

São depressões de forma alongada, causadas pela evolução das dolinas. São demarcadas como depressões acidentadas, podendo ser considerada como a junção de duas dolinas ou mais (SUMMERFIELD, 1991).

○ Poljes

São bacias de base aplainada, caracterizadas por possuir drenagem cárstica e ter alta declividade em pelo menos um dos lados (GAMS, 1978), podendo variar de 400 m até 1 km de extensão.

○ Cavernas

O crescimento das cavernas está profundamente associado aos atributos dos aquíferos cársticos, já que seu desenvolvimento é proporcionado pelo fluxo da água em acamamentos ou fraturas. São classificadas como ativas ou inativas, caso haja ou não percolação de água existente (CARVALHO JUNIOR et al 2008).

As cavernas ativas podem se tornar inativas com a transferência do fluxo de água para níveis inferiores no pacote rochoso. Uma vez inativas as cavernas sofrem com o preenchimento das cavidades por sedimentação e estalagmitização (processo de formação de espeleotemas) processo que depende da percolação do fluido, com isso pode ocorrer à fossilização da caverna como um todo caracterizando um paleocarste (CARVALHO JUNIOR et al, op. cit.).

4.2 Sensoriamento Remoto

A expressão sensoriamento remoto foi criada a fim de intitular o desenvolvimento da técnica de obtenção de imagens da superfície da terra sem contato físico de qualquer natureza entre o objeto e o sensor (ALMEIDA & MENESES, 2012).

A definição de sensoriamento remoto afirma explicitamente que o sensor capta o objeto através das suas radiações eletromagnéticas, tal qual a luz do sol. Sensores que não captam imagens a partir da radiação eletromagnética, como, por exemplo, os sensores gravimétricos, não podem ser denominados como sensoriamento remoto (ALMEIDA & MENESES op. cit.).

Diferentemente da crença popular, o sensoriamento remoto não se vale apenas das imagens de satélite, apenas popularizou-se no início da era espacial (ALMEIDA & MENESES op. cit.). As imagens aéreas, utilizadas há mais de 100 anos, também são consideradas como uma categoria do sensoriamento remoto. O primeiro material com a capacidade de obter imagens a partir de radiação eletromagnética foi o filme fotográfico.

O conceito de sensoriamento remoto é melhor compreendido entendendo-se as ondas eletromagnéticas como o objeto de leitura dos sensores alojados em vários tipos de dispositivos, como satélites, sabendo-se que qualquer objeto com temperatura maior que 0° K é um emissor de radiação eletromagnética (NOVO, 2008). O sol atua como a fonte principal da radiação e a superfície terrestre atua como o meio onde há a reflexão e reemissão da energia até o sensor (FLORENZZANO, 2008), como pode ser visto na Figura 6.

Ondas eletromagnéticas são constituídas por um campo elétrico e um campo magnético, que são perpendiculares ao deslocamento da onda e ortogonais (JENSEN, 2009).

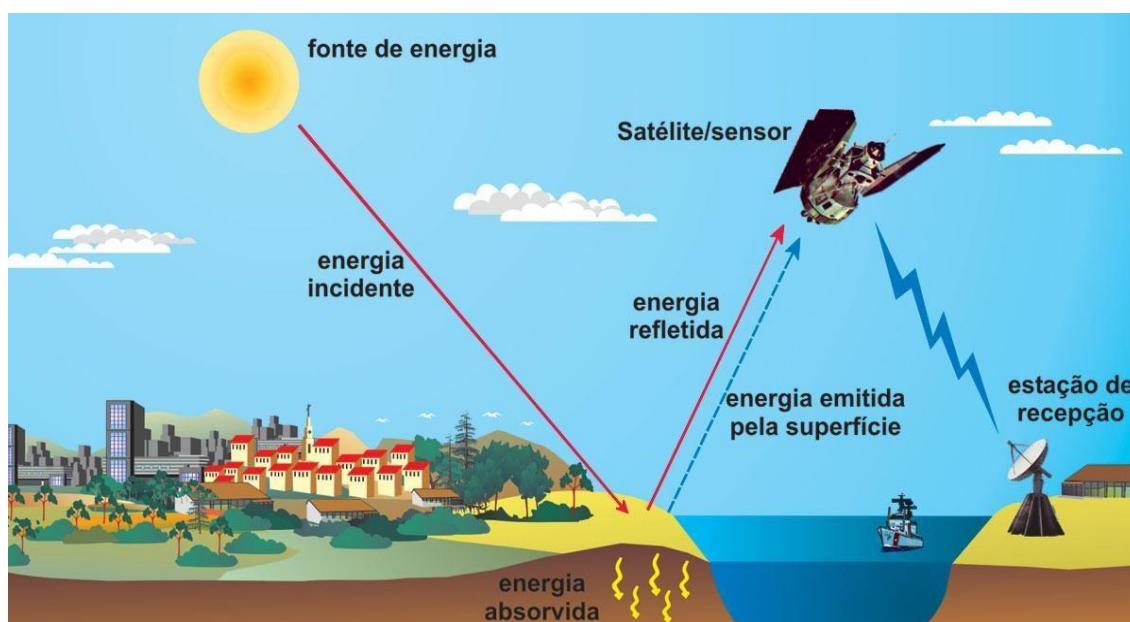


Figura 6 – Ilustração demonstrando a relação Sol-Terra-Sensor.

Fonte: (FLORENZZANO, 2008).

4.2.1 Geoprocessamento

O geoprocessamento assistido por computadores é uma prática que vem se popularizando recentemente. A melhora na tecnologia e acessibilidade a computadores e programas especializados para a manipulação de dados georreferenciados ocasionou uma grande evolução neste meio.

O geoprocessamento engloba o processamento digital de imagens, a cartografia digital e os sistemas de informação geográfica (SIG). A captação, organização e desenho de mapas são elementos da cartografia digital, já o sistema de informações geográficas engloba a aquisição, manipulação, análise, apresentação e armazenamento de dados (MOURA, 2012 apud FERNANDES, 2017).

Por definição, o geoprocessamento pode ser dito como o conjunto de tecnologias, ciências e técnicas utilizadas na aquisição, manipulação, cruzamento, armazenamento, exibição, gerenciamento, distribuição e documentação de dados e informações geográficas (ROSA & BRITO, 1996 apud FERNANDES, 2017).

Também se considera geoprocessamento pelo agregado de tecnologias guiadas para o tratamento e coleta de dados georreferenciados objetivando um alvo específico. Tais práticas são feitas por sistemas de informação geográfica, designados ao tratamento de dados georreferenciados desde a obtenção até a produção de resultados como arquivos, relatórios e mapas, possibilitando a manipulação, gerenciamento, análise e armazenamento dos dados (SILVA, 2007 apud FERNANDES, 2017). A Figura 7 mostra a relação entre sensoriamento remoto e geoprocessamento.

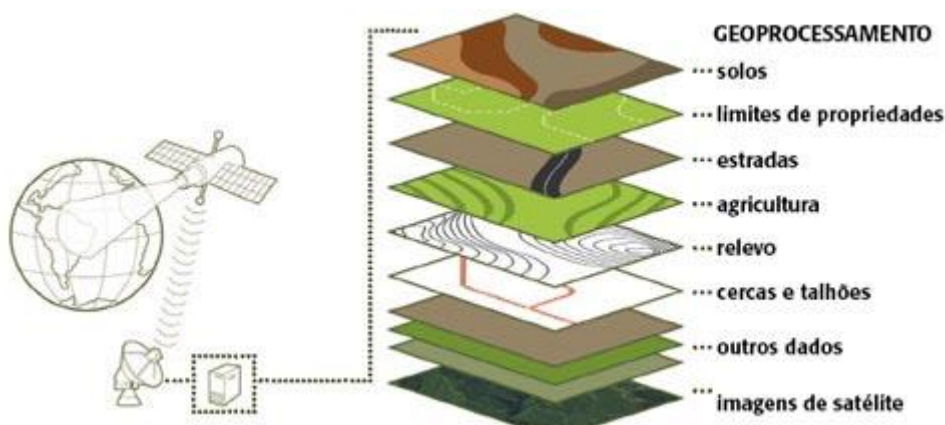


Figura 7 – Relação entre sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Fonte: <http://globorural.globo.com>.

4.2.2 Classificação de imagem

Classificação de imagens é uma técnica de obtenção de dados em imagens, diagnosticando formas homogêneas e padrões em superfície por meio de correlação entre pixels e classes (FLORES, 2011). Isto se dá pelo conjunto de agrupamento categorizado de classes de com valores espectrais parecidos entre os pixels.

Na classificação de imagem supervisionada o usuário realiza uma amostragem de campo das classes referentes aos pixels e a função de identificar os demais

pixels pré-determinados para essa classe é realizada pelos *softwares*. Na classificação não supervisionada, as classes são definidas sem controle de campo, valendo-se apenas da análise de imagens de satélite ou aéreas (BELUCO, 2002).

Neste trabalho, inicialmente realizou-se uma prévia geração de dados com base na classificação não supervisionada. Posteriormente, foi realizado um controle de campo visando à ratificação dos dados prévios.

4.2.3 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O Modelo Digital de Elevação (MDE), ou modelo digital do terreno, é uma representação matemática da disposição geográfica das características associadas à superfície do terreno, tendo como utilidade a criação de mapas de declividade, aparência, topográficos digitais e a observação tridimensional das feições da superfície terrestre (FRAGA et. al. 2003 apud FERNANDES, 2017).

Os dados de um modelo digital de elevação podem ser representados num sistema de informação geográfica como imagens, isolinhas, pontos tridimensionais, grade regular retangular e grade irregular triangular. Pontos tridimensionais consistem nos pontos máximos e mínimos numa carta topográfica, por diferenciação das coordenadas de latitude, longitude e altitude. Isolinhas representam diferentes pontos que possuem a mesma altitude, variando apenas em latitude ou longitude (RODRIGUEZ, 2005).

Conhecida por *Triangular Irregular Network* (TIN), a grade irregular triangular é constituída por um conjunto poliédrico feito apenas por triângulos, onde cada ponto da superfície é dado por um vértice do triângulo, como pode ser visto na Figura 8.

No presente trabalho, o MDE foi utilizado para gerar o mapa de drenagens do município de Simão Dias e no mapa de densidade de lineamentos.

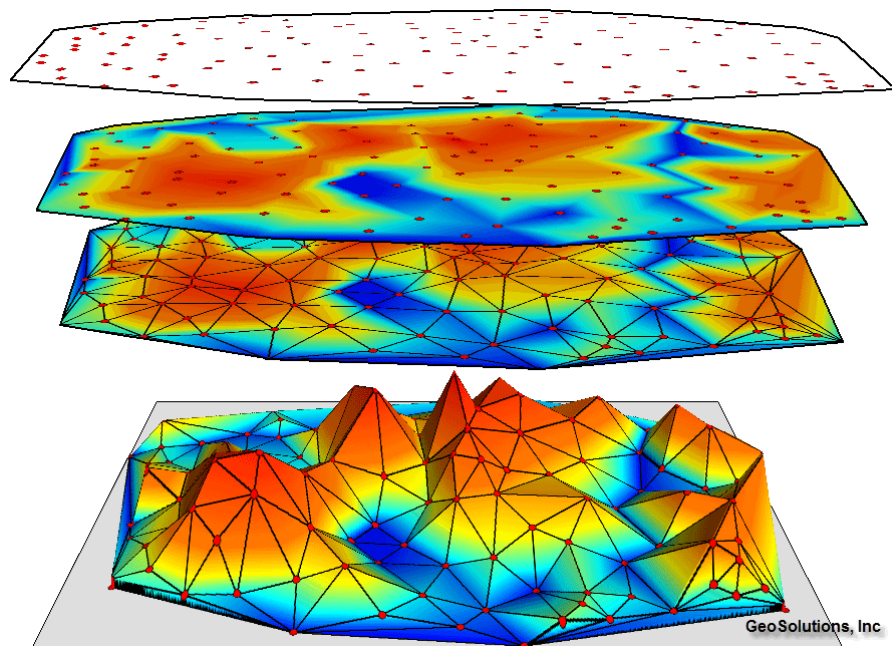


Figura 8 – Pontos tridimensionais e grade TIN para criação de MDE.

Fonte: GeoSolutions, Inc.

4.2.4 Álgebra de mapas

O surgimento deste termo deu-se com o lançamento do livro “Geographic Information System and Cartographic Modeling” (TOMLIN, 1990). Nele, tentou-se explorar de maneira geral as características dos dados em sistemas de informação geográfica, usualmente demonstrados por mapas. Esta operação consiste em associar cada localidade a um valor quantitativo ou qualitativo (CAMARA, 1995).

Para o uso desta técnica é necessário que se tenham mapas do tipo *Raster*, onde cada classe destes mapas possui um valor. Com estes mapas e valores definidos, pode-se realizar qualquer operação matemática entre seus elementos de acordo com a necessidade do mapa final.

4.2.5 Lineamento Automático

A definição de lineamento automático foi obtida a partir de (CONCEIÇÃO et al., 2013). Utilizando algoritmos específicos em *softwares* é possível converter feições lineares em vetores, sendo possível extrair automaticamente os lineamentos em macroescala a partir do modelo digital de elevação SRTM.

Com isto, foi possível gerar o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) e, posteriormente, o mapa de densidade de lineamentos.

5. METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada a revisão teórica quanto à técnica de álgebra de mapas em mapas de vulnerabilidade. Posteriormente, foi realizada a caracterização física da região, com a confecção de mapas preliminares de geologia, pedologia, densidade de lineamentos, uso do solo, drenagens e patrimônio espeleológico do município de Simão Dias. Alguns destes mapas foram utilizados como parâmetros para a construção do mapa final, o de vulnerabilidade à carstificação.

Com o mapa final em mãos, foi realizado controle de campo, a fim de ratificar os dados gerados, como visto na Figura 9.

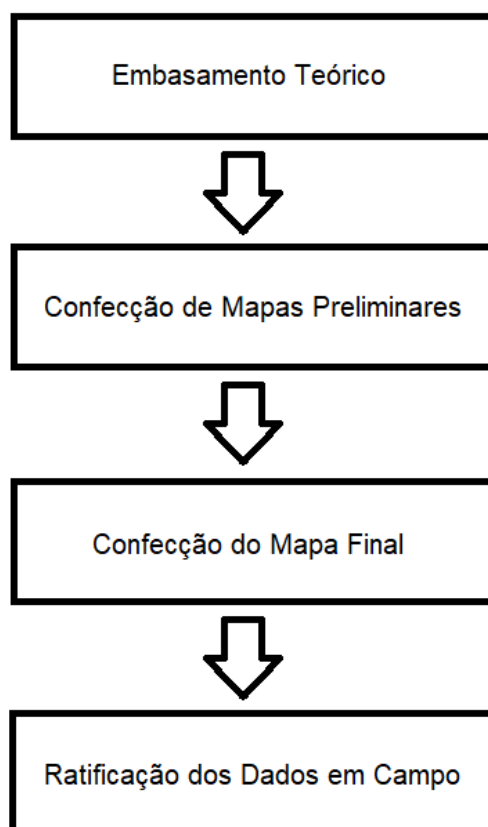


Figura 9 – Metodologia do trabalho.

Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, como classificação de imagem, para gerar o mapa de uso do solo e álgebra de mapas, para a confecção do mapa final. Além disso, foi utilizado um MDE para a obtenção da rede de drenagens do município de Simão Dias. Os dados de lineamentos da região foram obtidos a partir de (FORTES, 2016).

Para a classificação de imagem foi necessário o uso de imagem de satélite, obtidas pelo sensor *Landsat 8*, que funciona a partir de dois sistemas: *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS).

Dados gerados pelo sistema OLI possuem nove bandas multiespectrais, sendo as bandas de 1 a 7 e 9 com resolução espacial de 30 metros e a banda 8, pancromática, com resolução espacial de 15 metros. Neste trabalho foi feita uma composição utilizando-se das bandas 7, 5 e 3 do sistema OLI.

Foram utilizadas imagens do dia 14 de novembro de 2015, do quadrante 215/67, por serem as imagens onde foi encontrada a menor quantidade de nuvens.

Foi realizada a classificação do uso do solo em quatro classes: zona urbana, cultivos e pastagens, vegetação nativa e solos expostos.

Os dados de geologia e pedologia foram obtidos a partir do Atlas Digital do Estado de Sergipe (SEMARH, 2014). Os dados de hidrografia disponibilizados neste mesmo material serviram de subsídio para a construção de um mapa de drenagens local. Este mapa foi elaborado utilizando-se MDE da SRTM, na folha SC-24-Z-A, e o *software ArcGis 10.1*.

Para a obtenção da rede de drenagens foi executado o seguinte procedimento: *ArcToolBox > Hydrology > Flow Direction > Basin*. Este processo resultou numa imagem raster que foi convertida para polígonos vetoriais. Com este vetor em mãos, foi realizado o seguinte procedimento: *ArcToolBox > Hydrology > Flow Direction > Flow Accumulate > "Conditional Con Value > 500" > Stream to Feature*. Realizado este procedimento, tem-se o mapa de drenagens do município obtido a partir de modelo digital de elevação.

Para a obtenção automática de lineamentos, foi necessário o uso da mesma folha utilizada para a geração do mapa de drenagens. Este método foi realizado por (FORTES, 2016), com uso do *Software* Geomatica PCI, foi utilizada a extensão Focus. Nele, foi feito o seguinte procedimento: *Tools > Algorithm Librarian > LINE: Line Extraction*. A figura 10 mostra os parâmetros utilizados para a extração.

● Filter Radius (Pixels)	5	▼
● Edge Gradient Threshold	10	▼
● Curve Length Threshold (Pixels)	10	▼
● Line Fitting Error Threshold (Pixels)	2	▼
● Angular Difference Threshold (Degrees)	20	▼
● Linking Distance Threshold (Pixels)	1	▼

Figura 10 – Parâmetros utilizados no programa Geomatica PCI.

Fonte: FORTES, 2016.

Depois, o produto obtido foi exportado no formato *Shapefile* (.shp) e tratado no *software Arcgis* 10.1, para a produção de um mapa de densidade de lineamentos. Neste caso, foi realizado o seguinte procedimento: *ArcToolBox > Spatial Analyst Tools > Density > Line Density*. A partir deste produto, foi possível categorizar as regiões variando entre uma densidade de lineamentos muito alta até próximas a nulo.

A metodologia da álgebra de mapas voltada à criação de mapas de vulnerabilidade foi adaptada do livro “Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial” (CREPANI et al., 2001). Neste livro, o autor atribui pesos a cada classe de atributos que podem ser relevantes para este tipo de estudo e também atribui pesos a estas variáveis de forma global, definindo o quanto elas são relevantes para o estudo.

Este trabalho tem como base o artigo “Mapa de vulnerabilidade natural do patrimônio espeleológico da região de abrangência do PAN Cavernas do São

Francisco” (JANSEN, et al, 2014), que foi produzido utilizando-se da metodologia de CREPANI et al. (2001). Este trabalho selecionou como atributos a geologia, a pedologia, o índice de concentração de rugosidade (densidade de lineamentos) e o clima.

O clima trata-se de uma característica que tem importância apenas quando estudada numa grande área. Quando há o estudo de apenas um município, sobretudo aqueles que não possuem grandes estruturas em tecnologia, esta propriedade torna-se inerte no trabalho.

Já com o uso do solo, acontece o inverso. É muito difícil fazer-se uma classificação de imagem que resulte num mapa representativo em escala muito grande. Porém, para pequenas escalas é uma alternativa viável e com elevada precisão. Dados estes fatos, a metodologia utilizada por JANSEN et al. (2014) foi adaptada, passando-se a considerar como atributos fundamentais a geologia, a pedologia, a densidade de lineamentos e o uso do solo.

Os índices de vulnerabilidade de solos foram retirados de RIBEIRO & CAMPOS (2007), que adaptou as nomenclaturas dadas em CREPANI et al. (2001) para as novas nomenclaturas criadas pela EMBRAPA em 2006.

Após a finalização dos mapas de geologia, pedologia, uso de solo e densidade de lineamentos, o único *software* utilizado foi o *ArcGis* 10.1.

Estes mapas foram convertidos em dados *Raster* e posteriormente reclassificados utilizando a ferramenta *ArcToolBox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*. Cada mapa foi classificado de acordo com os valores da razão vulnerabilidade/estabilidade nas tabelas 01 a 04 a seguir:

Tabela 1 – Escala de vulnerabilidade das rochas mais comuns.

Variável: GEOLOGIA	
Atributo: Litotipos predominantes	Valor
Quartzito; Sedimento Inconsolidado	1,0
Dacito; Granito; Riolito	1,1
Granodiorito; Granulito; Quartzo diorito	1,2
Gnaisse; Migmatito	1,3
Sienito	1,4
Basalto	1,5
Anortosito; Gabro; Peridotito	1,6
Biotita	1,7
Formação Ferrífera Bandada; Itabirito; Anfibolito; Piroxenito	1,8
Xisto granatífero	2,0
Filito; Metassiltito	2,1
Ardósia	2,2
Mármore	2,3
Arenito quartzoso	2,4
Conglomerado; Subgrauvaca	2,5
Arcóseo; Grauvaca	2,6
Argilito; Siltito	2,7
Folhelho	2,8
Calcário; Dolomito	2,9

Fonte: dados dos litotipos da base digital (CPRM, 2003, p.74).

Retirado de JANSEN et al. (2014).

Tabela 2 – Escala de vulnerabilidade dos tipos de solo mais comuns

Classes de solo	Legenda	Vulnerabil./Estabilidade
Latossolo Amarelo	LA	1,0
Latossolo Vermelho-	LVA	1,0
Amarelo	LV	1,0
Latossolo Vermelho	LB	1,0
Latossolo Bruno		1,0
Argissolo	P	2,0
Luvissolo	T	2,0
Alissolo	A	2,0
Nitossolo	N	2,0
Chernossolo	M	2,0
Planossolo	S	2,0
Espodossolo	E	2,0
Cambissolos	C	2,5
Neossolo	R	3,0
Neossolo Quartzarênico	RQ	3,0
Vertissolo	V	3,0
Organossolo	O	3,0
Gleissolo	G	3,0
Plintossolo	F	3,0
Chernossolo Rêndzico	MD	3,0
Afloramento Rochoso	AR	3,0

Adaptado de CREPANI et al. (2001), retirado de RIBEIRO & CAMPOS (2007).

Tabela 3 – Escala de vulnerabilidade do Índice de Concentração da Rugosidade

Variável: ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE	
Atributo: Grau	Valor
Muito Baixo	1,0
Baixo	1,5
Médio	2,0
Alto	2,5
Muito Alto	3,0

Retirado de JANSEN et al. 2014

Tabela 4 – Escala de vulnerabilidade do uso do solo

Uso do Solo	Valor
Zona Urbana	1,3
Vegetação Nativa	1,0
Cultivos e Pastagens	2,5
Solos Expostos	3,0

Adaptado de CREPANI et al. (2001).;

Com as categorias reclassificadas, foi realizada uma álgebra de mapas (Figura 11), onde cada um destes recebeu um peso numa média ponderada,

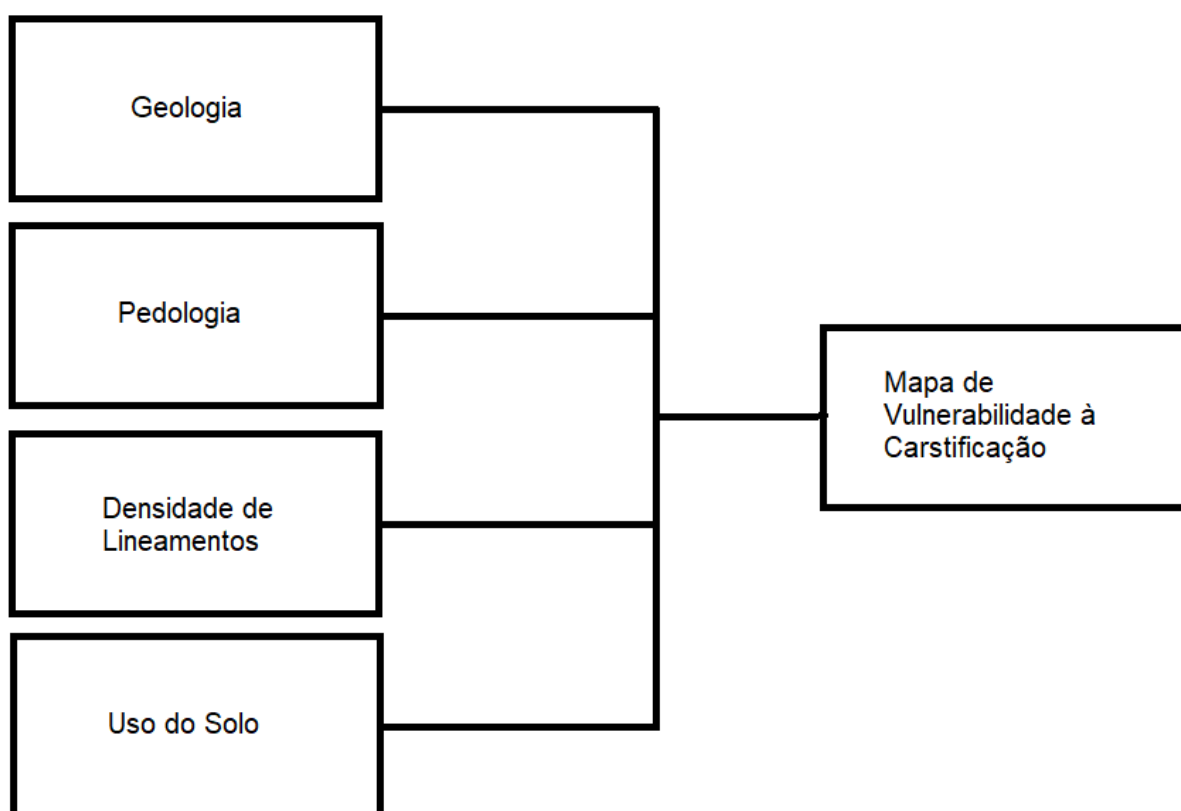


Figura 11 – Fatores utilizados para a álgebra de mapas.

Adaptado de JANSEN et al., 2014.

resultando na seguinte expressão (adaptado de JANSEN et al., 2014):

$$VN = GEO * 0,35 + PED * 0,3 + DL * 0,2 + US * 0,15$$

Onde:

VN = Vulnerabilidade Natural;

GEO = Geologia;

PED = Pedologia;

DL = Densidade de Lineamentos (ou Índice de Concentração da Rugosidade);

US = Uso do Solo.

Esta operação resultou num mapa final, o objeto deste estudo, que foi dividido em cinco classes: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta.

Estas classes foram determinadas pelo método de classificação de quebras naturais, ou *Otimização de Jenks*, na qual os intervalos são determinados por estatística. Este método resulta em classes com valores próximos e diferenças maximizadas, sendo os limites das classes definidos nos pontos onde existem grandes diferenças nos dados.

6. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

6.1 Densidade de Lineamentos

A densidade de lineamentos, ou Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) do município de Simão Dias (Figura 12 e Anexo 1) concentra seus valores mais altos na porção norte do território. Isto se explica pelo alto topográfico nesta área, proporcionando a formação de redes de drenagem, que com o passar do tempo acabam se transformando em lineamentos de macroescala.

Há, ainda, a presença de um grande lineamento de orientação NW-SE. Este lineamento marca o contato litológico entre as formações Olhos d'Água e Palestina.

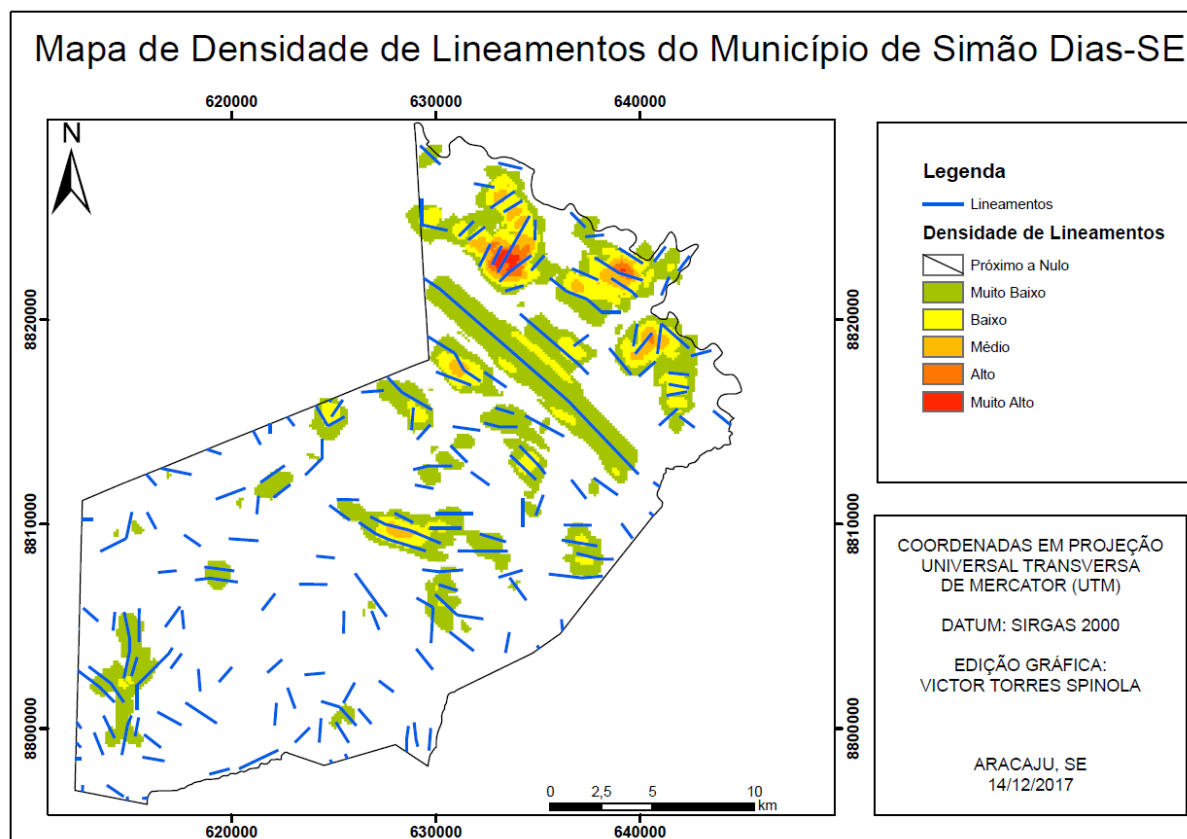


Figura 12 – Mapa de densidade de lineamentos do município de Simão Dias. Fonte: FORTES, 2016.

6.2 Uso do Solo

O estudo uso do solo no município de Simão Dias (Figura 13 e Anexo 2) foi realizado a partir do estudo de imagens de satélite (Figura 14). A classificação de imagem foi feita utilizando-se de quatro categorias, que assim distribuem-se espacialmente:

- Ação antrópica, que considera basicamente a ocupação urbana no município, concentra-se no centro da área;
- Vegetação nativa, que considera as matas mais densas, concentra-se no extremo sul e na faixa central da área do município;
- Cultivos e pastagens, que considera todo tipo de uso do solo onde há agricultura ou pecuária, concentra-se nas porções norte e sudeste da área;

- Solos expostos, que compreendem toda a região desmatada, não preservada e fortemente erodida, aparecem em zonas esparsas pela área do município. Em alguns casos, aparece associado às zonas de ação antrópica.

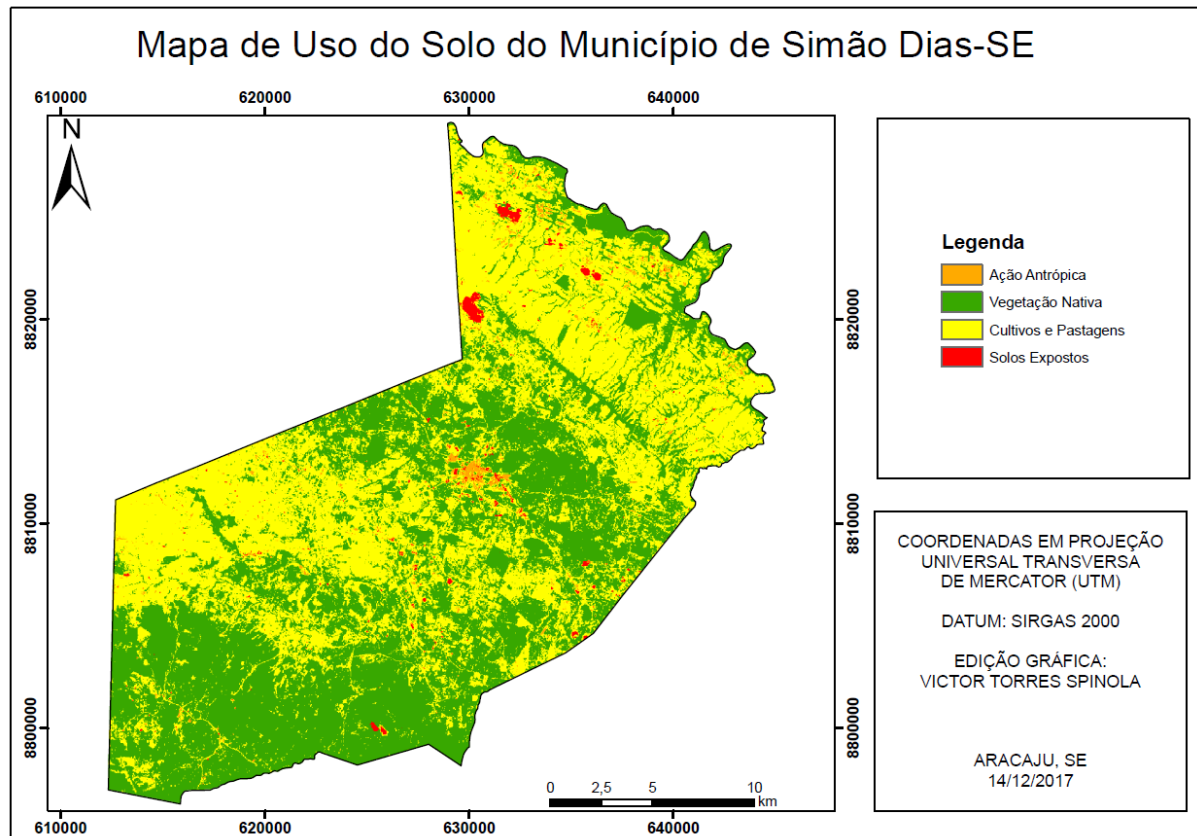


Figura 13 – Mapa de uso do solo do município de Simão Dias. Fonte: O Autor.

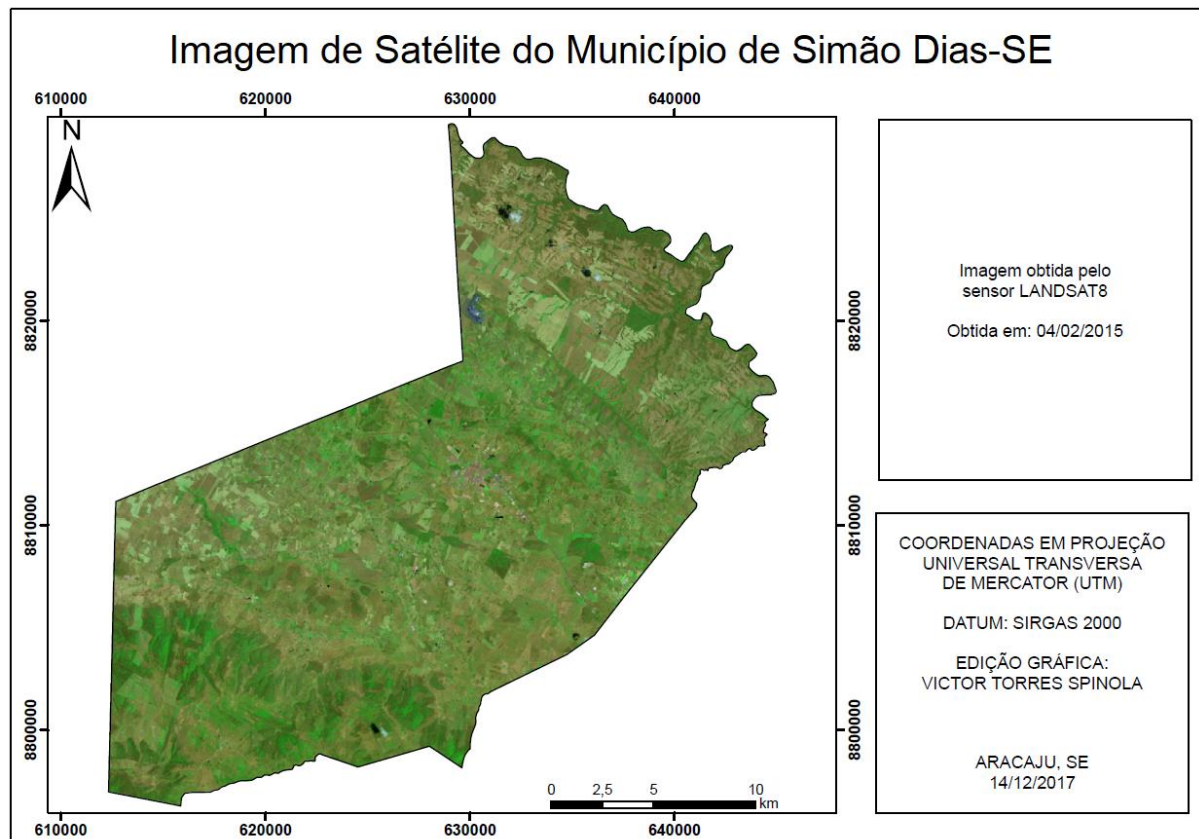


Figura 14 – Imagem de satélite utilizada como base para o mapa de uso do solo do município de Simão Dias. Fonte: *Landsat 8*, NASA.

6.3 Hidrologia

Há no município de Simão Dias a presença de três importantes bacias hidrográficas do estado. A bacia do rio Vaza Barris, no extremo norte do município; bacia do rio Piauí, na porção central; e a bacia do rio Real, na porção sul do município (Figura 15).

O rio Vaza Barris nasce no estado da Bahia, na cidade de Uauá, desaguando no oceano no estado de Sergipe. Possui 330 km de comprimento, sendo 178 km contidos no estado da Bahia e 152 km no estado de Sergipe. Deságua na divisa entre os municípios de Aracaju e Itaporanga d'Ajuda, em Sergipe.

Sua bacia possui uma área de aproximadamente 17.000 km², estando 85% no estado da Bahia e os 15% restantes no estado de Sergipe. Apesar de possuir

grande área, o rio Vaza Barris é intermitente no estado da Bahia, tornando-se perene apenas no estado de Sergipe.

O rio Real nasce no estado de Sergipe, no município de Poço Verde, tomando a direção sudeste. Proporciona uma fronteira natural entre os estados da Bahia, onde banha nove municípios, e Sergipe, onde banha oito. Deságua na divisa entre os municípios de Indiaroba, em Sergipe, e Jandaíra, na Bahia.

Possui como principais afluentes no estado de Sergipe os riachos do Urubu, Carepau, Jacarezinho, Periperi e rios Jabiberi, Itamirim e Mocambo. Sua bacia hidrográfica tem uma área de 2.568 km², cobrindo 11,6% do território do estado e é um importante rio para o abastecimento urbano.

O rio Piauí nasce no município de Riachão do Dantas, em Sergipe. Possui uma bacia hidrográfica com 4.150 km² de área, passando por 15 municípios da região sul do estado. Compreende 19% da área do estado. Deságua no município de Estância, em Sergipe.

É uma das bacias hidrográficas mais desenvolvidas do estado de Sergipe, sendo essencial para o abastecimento urbano. Possui diversos afluentes de médio e grande porte, sendo os mais importantes os rios Arauá, Pagão, Jacaré, Piauitinga e Fundo.

No presente estudo, nota-se que a maior parte das cavidades naturais do município de Simão Dias ocorre na bacia hidrográfica do rio Piauí. Nesta, destacam-se as sub-bacias dos rios Caiçá e Jacaré.

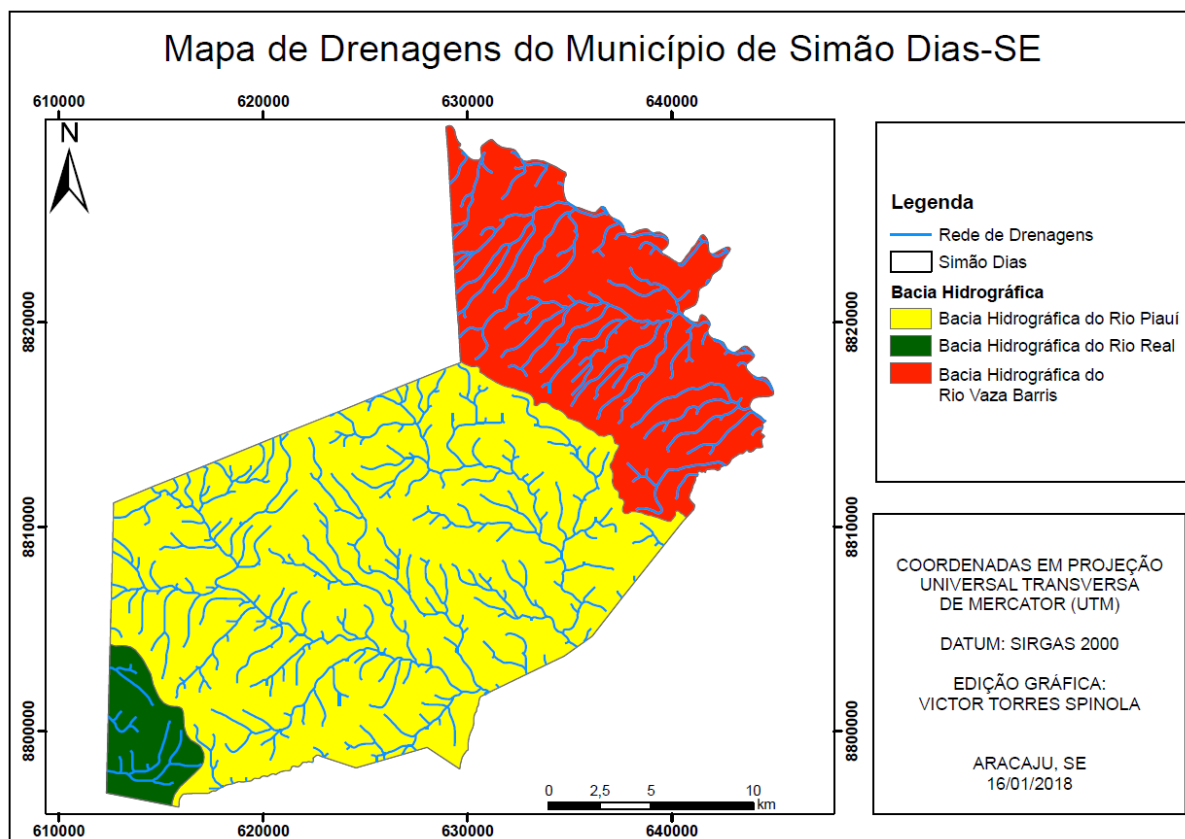


Figura 15 – Mapa hidrológico do município de Simão Dias.

Adaptado de SEMARH, 2014.

6.4 Pedologia

No município de Simão Dias há a presença de quatro tipos de solo: cambissolos, luvisolos, neossolos e planossolos (Figura 16 e Anexo 3). Destes, predominam os neossolos, principalmente na porção norte e sudoeste da área, e os planossolos, na região centro-oeste. Os luvisolos aparecem na região central e os cambissolos no extremo oeste.

Neossolos são constituídos por material orgânico ou mineral pouco espesso, definido por (EMBRAPA, 2006) como solos pouco evoluídos, caracterizado pela ausência de manifestação de evidências dos processos de evolução do solo. Isto se dá em função de uma série de fatores, como material de origem, clima, relevo e tempo.

São encontrados em variados tipos de clima, podendo tanto estar em relevos acidentados quanto em planícies sob influência de lençol freático. Seu material de origem varia de materiais resultantes de decomposição de rochas pré-cambrianas dos embasamentos até sedimentos aluviais.

Os planossolos são típicos de áreas com altitude baixa, com terreno plano ou suavemente ondulado. Em geral, são pouco profundos, tendo um horizonte superficial de textura arenosa de cores claras seguido por um segundo horizonte de textura argilosa, adensado e pouco permeável, chamado de plânico. São caracterizados por possuir minerais primários facilmente intemperizáveis, conferindo-lhe a capacidade de fornecer nutrientes às plantas.

Os luvisolos são solos pouco profundos com o horizonte superficial pouco espesso, com estrutura pouco desenvolvida e um segundo horizonte resultante de concentração de argila, decorrente de processos de iluviação ou formação *in situ*. Apresentam uma crosta pedregosa superficial de 5 a 10 mm de espessura (pavimento desértico) e altos teores de silte.

Luvisolos são altamente susceptíveis aos processos erosivos, entre eles a carstificação, pois seus horizontes possuem grande diferença textural. Ocorrem em terrenos que variam de suave a fortemente ondulado. Este tipo de solo é rico em minerais primários facilmente intemperizáveis e em potássio, mas apresenta uma grande deficiência na retenção de água.

Os cambissolos são solos que variam muito de acordo com seu local, de acordo com clima e relevo. Apresentam espessura variando de 50 cm a 1 metro, com textura arenosa a argilosa, com o segundo horizonte composto por material mineral e podendo conter ou não agregados com grãos simples ou maciços.

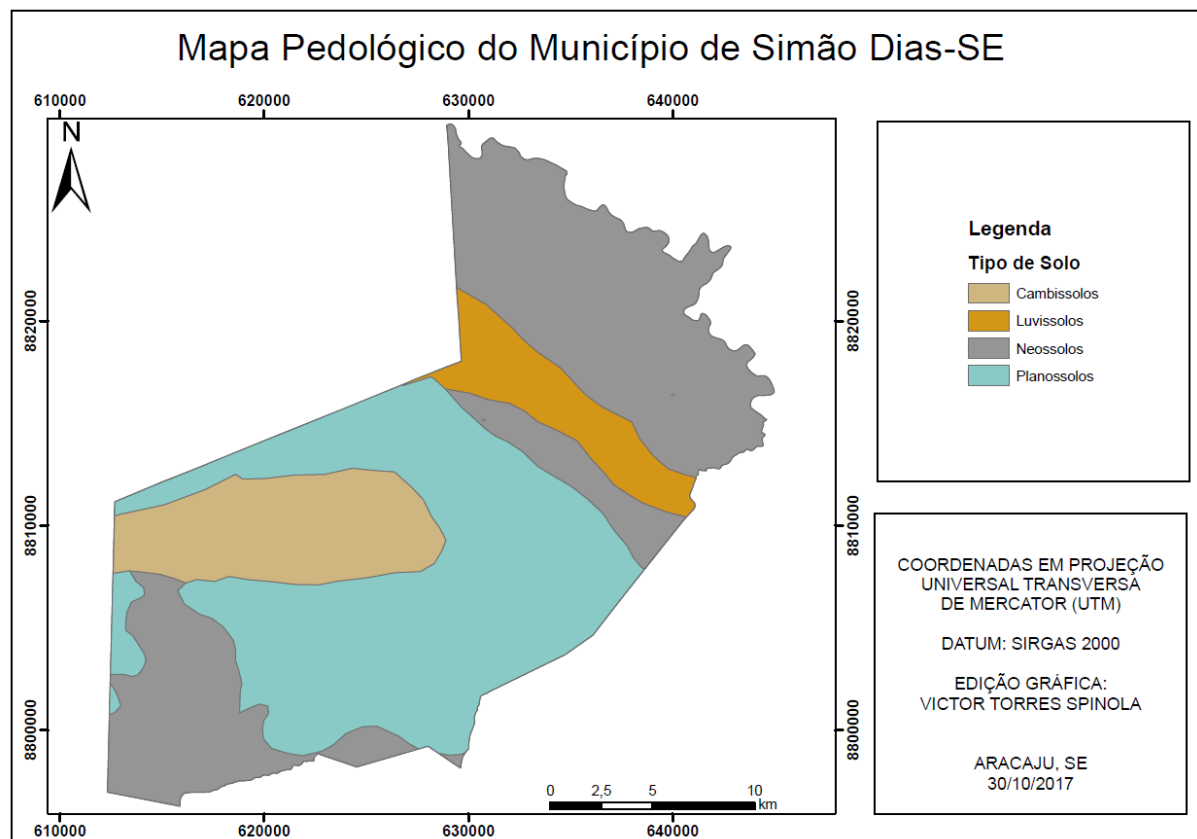


Figura 16 – Mapa pedológico do município de Simão Dias.

Fonte: SEMARH, 2014.

6.5 Geologia

A geologia do município de Simão Dias (Figura 17 e Anexo 4) é dada basicamente pela Faixa de Dobramentos Sergipana e pelo Domo de Simão Dias, variando no Neo ao Mesoproterozóico.

6.5.1 Complexo Gnáissico Migmatítico - Domo de Simão Dias

O Domo de Simão Dias é predominantemente composto por ortognaisses miloníticos bandados, com composição variando de granítica a granodiorítica, apresentando boudins intercalados de anfibolitos e gabros, em alguns pontos com feições migmatíticas demonstrando diversos estágios anatéticos. A composição usual desses ortognaisses de fácies anfibolito é dada por quartzo, feldspato

potássico, plagioclásio, biotita, moscovita, sericita, epidoto e clorita (SANTOS et al., 1988).

Estes gnaisses apresentam feições redobradas localizadas, mas no geral observam-se transpostos, com total obliteração das feições primárias. Apresentam-se em zonas de cisalhamento transcorrente, podendo-se apenas inferir estruturas lineares subhorizontais penetrativas, com direção WNW-ESSE, não tendo definidas superfícies de foliação. Podem ser diagnosticadas, frequentemente, paragêneses indicando retrometamorfismo da fácies anfibolito para a fácies xisto verde

A região sofreu três eventos deformacionais, que variaram de dúctil a dúctil-rúptil, afetando a cobertura metassedimentar no Domínio Vaza-Barris (D'EL REY SILVA, 1992). Há, também, registro destes eventos nos gnaisses e migmatitos do Domo de Simão Dias, indicando seu envolvimento na tectônica brasileira. Ademais, as variações nas fácies e espessuras das coberturas de sedimentos que contornam o Domo atestam que estes se desenvolveram como paleoaltos à época da sedimentação.

A conotação estrutural atual dos domos na faixa de dobramentos é entendida pela reativação de falhas lítricas extensionais regionais para falhas contracionais, que fazem limite com estes segmentos do embasamento (falhas de Mocambo, Simão Dias e Itaporanga).

6.5.2 Faixa de Dobramento Sergipana

É a região de enfoque deste trabalho, onde se localiza o Domínio Vaza-Barris. É dada por uma região de orógeno Neoproterozoica (ALMEIDA et al., 2000) e sua formação deu-se durante o ciclo Brasileiro (~600-540 Ma).

Localiza-se entre o maciço Pernambuco-Alagoas e o extremo nordeste do Cráton do São Francisco (ALMEIDA et al. op. cit.). Sua porção leste tem limite dado pela sub-bacia de Sergipe, na bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, e sua porção oeste tem seu limite dado pela bacia sedimentar do Tucano. Esta região engloba todo o município de Simão Dias, além de parte da Bahia, do sul de Alagoas e a totalidade do centro-oeste sergipano.

Esta região formou-se no ciclo Brasileiro, como resultado da colisão entre o Cráton do São Francisco, de idade Arqueana-Proterozoica, com o maciço

Pernambuco-Alagoas, de idade Mesoproterozoica, resultando na amalgamação de variados domínios litotectônicos (BRITO NEVES et al., 1978).

Esta faixa é retratada pelo domínio de rochas metassedimentares e metavulcânicas, variando de Meso a Neoproterozoicas, com metamorfismo entre as fácies zeólita, xisto verde e anfíbolito, divididos em domínios tectonoestratigráficos. A Faixa Sergipana divide-se em seis domínios litoestratigráficos: Canindé, Poço Redondo, Marancó, Macururé, Vaza Barris e Estância (DAVISON & SANTOS, 1989; SANTOS et al., 1998; D'EL-REY SILVA, 1999; OLIVEIRA, 2008), no sentido nortesul, tendo como divisão entre eles grandes zonas de cisalhamento. Cada domínio possui sua própria identidade estrutural, metamórfica e litoestratigráfica, unidos por uma tectônica compressiva em direção sudoeste, intimamente correlata ao ciclo Brasileiro, com zonas de cisalhamento e falhas de alto a médio ângulo.

- Domínio Vaza Barris

Localizado na porção centro-oeste do estado de Sergipe, o Domínio Vaza-Barris prolonga-se para oeste além do limite estadual e para leste até o limite com a sub-bacia de Sergipe. Faz limite com o Domínio Estância através de uma zona de cisalhamento dúctil-rúptil contracional de alto ângulo, a Falha do Rio Jacaré. Esta falha foi reativada por diversas vezes, até o Mesozoico, desde que se formou a bacia sedimentar Sergipe-Alagoas, pois no seu extremo sudeste, a Falha de Itaporanga limita, em partes, a bacia sedimentar

É composto, principalmente, por metassedimentos psamo-pelito-carbonáticos com grau metamórfico baixo dos grupos Simão Dias, Miaba e Vaza-Barris, segundo a estratigrafia proposta por D'EL REY SILVA (1992, 1995), estabelecida a partir dos trabalhos de HUMPHREY & ALLARD (1969).

- Grupo Miaba

Ocorre nas bordas do domo de Simão Dias, em forma de faixas com orientação WNW-ESE, como domínio na porção centro-norte do Domínio Vaza-Barris. No município de Simão Dias, o Grupo Miaba é composto pelas formações Itabaiana e Ribeirópolis.

A Formação Itabaiana é caracterizada pelo contato entre metarenitos conglomeráticos que apresentam corpos lenticulares de metaconglomerados

polimíticos incrustados na matriz e rochas ortognáissicas do embasamento aflorantes na porção central do domo. Apresenta zonas de cisalhamento transcorrentes ou contracionais. Suas principais estruturas primárias, associações litológicas e ambiente deposicional estão dispostos na Tabela 5. (D'EL REY SILVA (1992).

Tabela 5 – Ambiente deposicional e descrição litológica do Grupo Miaba.

Fonte: D'EL REY SILVA (1998); SANTOS et al. (1998).

Grupo	Fm.	Descrição	Ambiente
MIABA	JACOCA	Metacarbonatos (calcário e dolomito); metacarbonatos e metapelitos intercalados; níveis de <i>metachert</i> .	Marinho raso.
	RIBEIRÓPOLIS	MNr ₁ Filitos siltosos ou seixos com intercalações de metagrauvas; metaconglomerados; metavulcanito ácido a intermediário.	Correntes de detritos; ambientes instáveis; vulcanismo pré-orogênico (?).
		MNr ₂ Quartzo-palgioclásio-sericita-clorita xistos (metavulcânicas dacíticas) predominantes.	
		MNr ₃ Metagrauvas seixosas, metagrauvas e metaconglomerados predominantes.	
	ITABAIANA	Conglomerados com clastos do embasamento, metarenitos e quartzitos médios a grossos, quartzitos finos; filitos às vezes negros; metarenitos conglomeráticos no topo. Estruturas paralelas e cruzadas planas e festonadas; ondulações; estruturas de escape de fluidos.	Marinho raso, retrabalhado por marés, correntes e tempestades (D'el-Rey Silva, 1992).

A Formação Ribeirópolis aflora entre as Formações Itabaiana e o Grupo Vaza Barris. Apresenta contatos gradacionais com a Formação Itabaiana, expostos no rio Jacarecica. Apresenta presença feições primárias com boa preservação. Sua espessura chega a cerca de quinhentos metros.

É composta, majoritariamente, por metagrauvas, metagrauvas seixosas, filitos, filitos seixosos e metaconglomerados polimíticos, além de rochas metavulcânicas xistificadas ácidas a intermediárias subordinadas.

○ Grupo Simão Dias

Amplamente distribuído no Domínio Vaza Barris, o Grupo Simão Dias tem sua mais bem definida seção-tipo numa pequena região na borda oeste do Domo de Simão Dias (D'ELREY SILVA, 1995), evoluído de (HUMPHREY & ALLARD, 1969). Engloba as formações Frei Paulo, Jacaré e "Indiviso", as quais tem sua descrição litológica e seu paleoambiente deposicional demonstrados pela Tabela 6. A única

formação de interesse para este trabalho é a Formação Frei Paulo, única aflorante na área de estudo, apesar de o Grupo ser homônimo à cidade.

Tabela 6 – Ambiente deposicional e descrição litológica do Grupo Simão Dias.

Fonte: SANTOS et al. (1998).

Grupo	Fm.	Descrição	Ambiente
SIMÃO DIAS	FREI PAULO	MNfp ₁	Ambientes de plataforma lamosa, com eventuais condições de ambientes de intramaré.
		MNfp ₂	
		MNfp ₃	
	JACARÉ	Metassiltitos micáceos e metassiltitos com lentes subordinadas de metarenitos e metargilitos.	
	INDIVISO	Metarenitos micáceos laminados, metarenitos e metagrauvas finas e maciças; metassiltitos.	

Mais expressiva unidade do Grupo Vaza Barris, a Formação Frei Paulo ocorre na porção norte do Domínio Vaza Barris, com espessura máxima de quinhentos metros. Zonas de cisalhamento contracionais, oblíquas e frontais determinam seu contato inferior com o Grupo Miaba.

Sua composição litológica geral é de filitos, interestratificados ritmicamente com metarenitos e metacarbonatos impuros, agrupados em três litofácies interdigitadas (MNfp₁, MNfp₂ e MNfp₃), as diferenças de competência e espessura das camadas, típicos desta formação, facilitaram o registro da tectônica compressional que atuou sobre o Domínio Vaza-Barris. Isto é constatado pela grande variedade de tipos de dobras, com eixos geralmente subhorizontais com superfície axial e eixos de alto ângulo num mesmo afloramento.

- Grupo Vaza-Barris

Distribuído nas porções central e sul do domínio de mesmo nome, é composto pelas formações Olhos d'Água e Palestina. É estruturado em grandes dobras, orientadas a WNW-ESE e mergulhando para SSW. A nordeste do município de Simão Dias, as formações Palestina e Olhos d'Água fazem contato tectônico, sendo possível diagnosticá-lo por imagens de satélite.

A Formação Palestina tem como litologias principais diamictitos e filitos seixosos, com clastos de variados tamanhos, de matacão a grânulos, compostos de rochas graníticas e gnáissicas, quartzitos, filitos e metacarbonatos.

A Formação Olhos d'Água sobrepõe de forma concordante a Formação Palestina, e é caracterizada por apresentar rochas carbonáticas laminadas, intercaladas por metapelitos. Sua espessura é estimada em centenas de metros, não se tendo um valor exato. Faz contato com os arenitos da Formação Palmares, do Grupo Estância, e com ortognaisses do embasamento (SANTOS et al., 1998).

Na Formação Olhos d'Água é possível ver os registros da deformação brasileira, com dobramentos e redobramentos progressivos com tipos variados, registrados por anisotropias planares, além de cavalgamentos típicos do Domínio Vaza Barris. Aflora isoladamente na porção leste do Domo de Itabaiana, com transição gradacional para filitos da Formação Frei Paulo.

Na Formação Olhos d'Água há litologia predisposta ao modelamento de ambiente cárstico. Apesar de existir uma frequente intercalação entre carbonatos e filitos, há expressivos pacotes de carbonatos com grau de faturamento alto, propiciando o local ao desenvolvimento cárstico. Esta informação é corroborada pela grande quantidade de cavernas encontradas nesta formação. Portanto, esta formação acaba sendo a mais relevante para este estudo.

Na Tabela 7 é demonstrada a descrição litológica e o paleoambiente deposicional do Grupo Vaza Barris.

Tabela 7 – Ambiente deposicional e descrição litológica do Grupo Vaza Barris.

Fonte: SANTOS et al. (1998).

Grupo	Fm.	Descrição	Ambiente
VAZA-BARRIS	Olhos d'Água	Calcários laminados; calcários e dolomitos às vezes oolíticos; e intercalações de carbonatos e filitos; <i>metacherts</i> . Cores negra, rosa ou esbranquiçada. Presença de algas: <i>Stratistifera undata</i> .	Plataforma rasa; planícies de maré com tapetes algais.
	Palestina	Metaconglomerados; filitos seixosos; metavulcânicas; lentes de quartzito; seixos de granito; quartzito e metacarbonatos.	Cunhas de clásticos em ambiente tectônico instável; vulcanismo.

- Domínio Estância

Este é o domínio mais meridional da Faixa de Dobramentos Sergipana, tendo sua composição dada por sedimentos anquimetamórficos do Grupo Estância (HUMPHREY & ALLARD, 1969; ALLARD & TIBANA, 1966; SILVA FILHO et al., 1978) depositados inconformemente sobre o embasamento gnáissico, na borda nordeste do Cráton do São Francisco. Faz limite com o Domínio Vaza-Barris na falha do rio Jacaré, uma falha contracional de alto ângulo.

- Grupo Estância

No município estudado, a única formação deste grupo que aflora é a Palmares. De acordo com SILVA FILHO et al. (1978), a Formação Palmares é expressivamente distribuída no estado de Sergipe, formando um relevo de serras típico na porção sul do município de Simão Dias. Faz contatos delineados por falhas normais com o embasamento cratônico e sedimentos da bacia do Tucano.

A Formação Palmares é constituída basicamente por grauvacas e arenitos finos, feldspáticos, muito litificados, compactos, com ocorrência de lentes de conglomerados polimíticos desorganizados. Tais conglomerados possuem clastos de quartzo, carbonatos, quartzito, gnaisses, xistos e metabasitos. É rara a ocorrência de rochas argilosas nesta formação. As estruturas sedimentares resumem-se, principalmente, a estratificações plano-paralelas e raras estratificações cruzadas. Na Tabela 8 temos a descrição litológica, os paleoambientes deposicionais e suas principais estruturas.

Tabela 8 – Ambiente deposicional e descrição litológica do Grupo Estância.
Fonte: SANTOS et al. (1998).

Grupo	Fm.	Descrição	Estrutura/Interpretação
ESTÂNCIA	PALMARES	Arenitos líticos às vezes conglomeráticos com clastos de filito. Intercalações rítmicas de folhelhos, arenitos e siltitos. Conglomerados polimíticos organizados. Conglomerados e brechas monomíticas com seixos de calcário, desorganizados.	Leques Aluviais retrabalhados em planícies costeiras. Ambientes tectonicamente instáveis. Estruturas paralelas e cruzadas de pequeno e médio porte. Correntes multidirecionais, inclusive do norte.
	LAGARTO	Siltitos e folhelhos vermelhos; intercalações de arenitos vermelhos. Arenitos vermelhos com discos de lama e clastos de carbonatos. Siltitos e esverdeados com cubos de pirita.	Planícies de maré com exposições sazonais subaéreas. Plataforma rasa lamosa; deltas. Estruturas do tipo <i>flaser</i> , marcas de oscilação de corrente; diques de arenitos, chama, laminação paralela e convoluta. Correntes dominantes para norte.
	ACAUÃ	Dolomitos e calcários em bancos maciços ou laminados, negros ou rosa. Níveis oolíticos.	Supramaré, localmente com águas agitadas. <i>Sabkhas</i> costeiras.

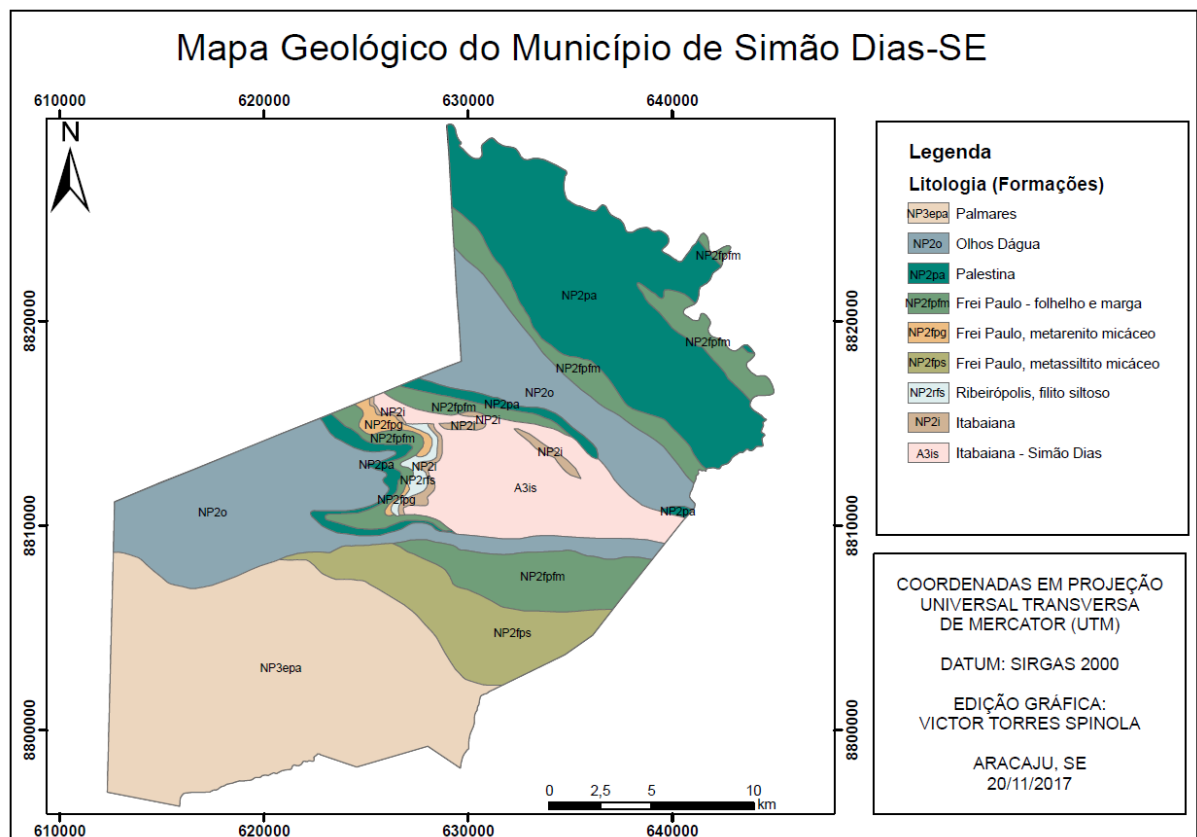


Figura 17 – Mapa geológico do município de Simão Dias. Fonte: CPRM, 1998.

6.6 Espeleologia

Na região estudada há ocorrência de 15 cavidades naturais, a maior parte e mais importantes situadas na Formação Olhos D'água. Além das cavidades naturais, podem ser encontradas feições cársticas em estágio inicial, sem associação com cavernas, em rochas carbonáticas da região. Estas cavernas estão representadas na Figura 18.

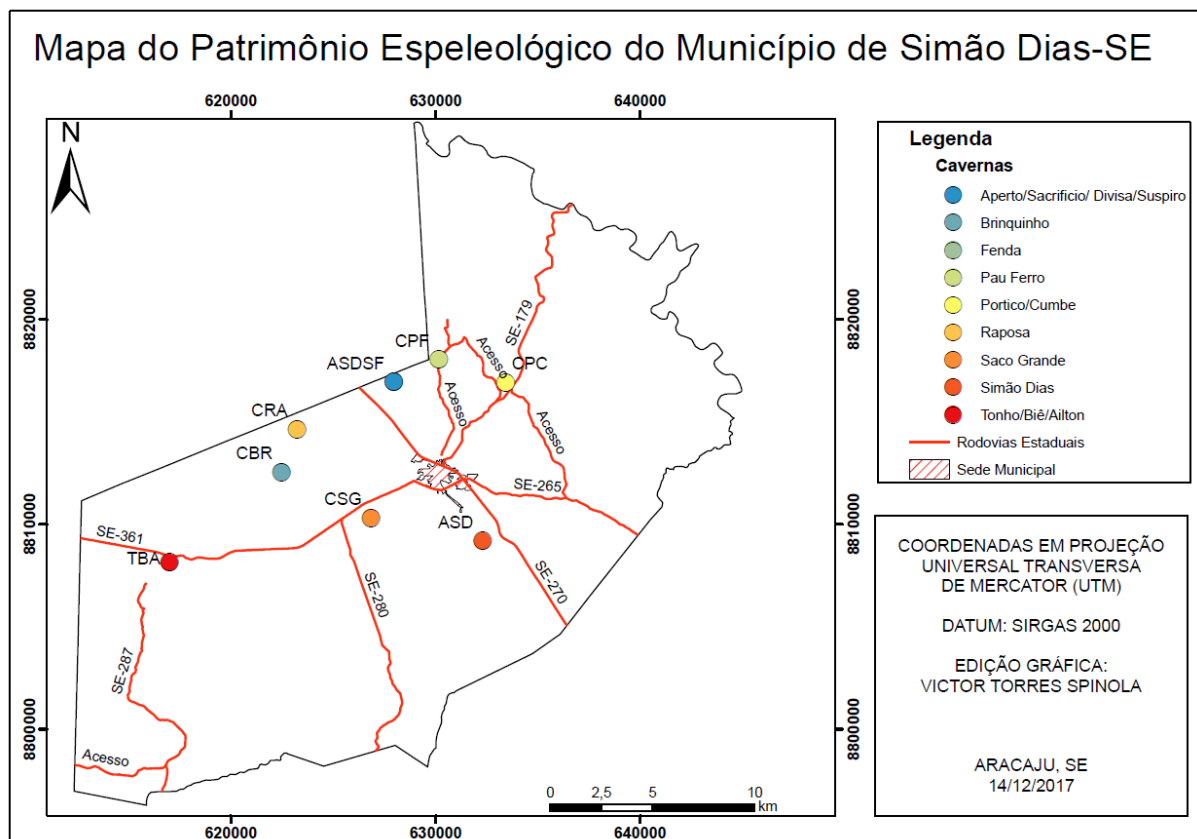


Figura 18 – Mapa do patrimônio espeleológico do município de Simão Dias.

Fonte: CENTRO DA TERRA, 2016.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizada a caracterização física do local estudado, deu-se início à fase de geração de resultados. Para tal, foi elaborado o mapa de vulnerabilidade à carstificação do município de Simão Dias (Figura 19 e Anexo 5).

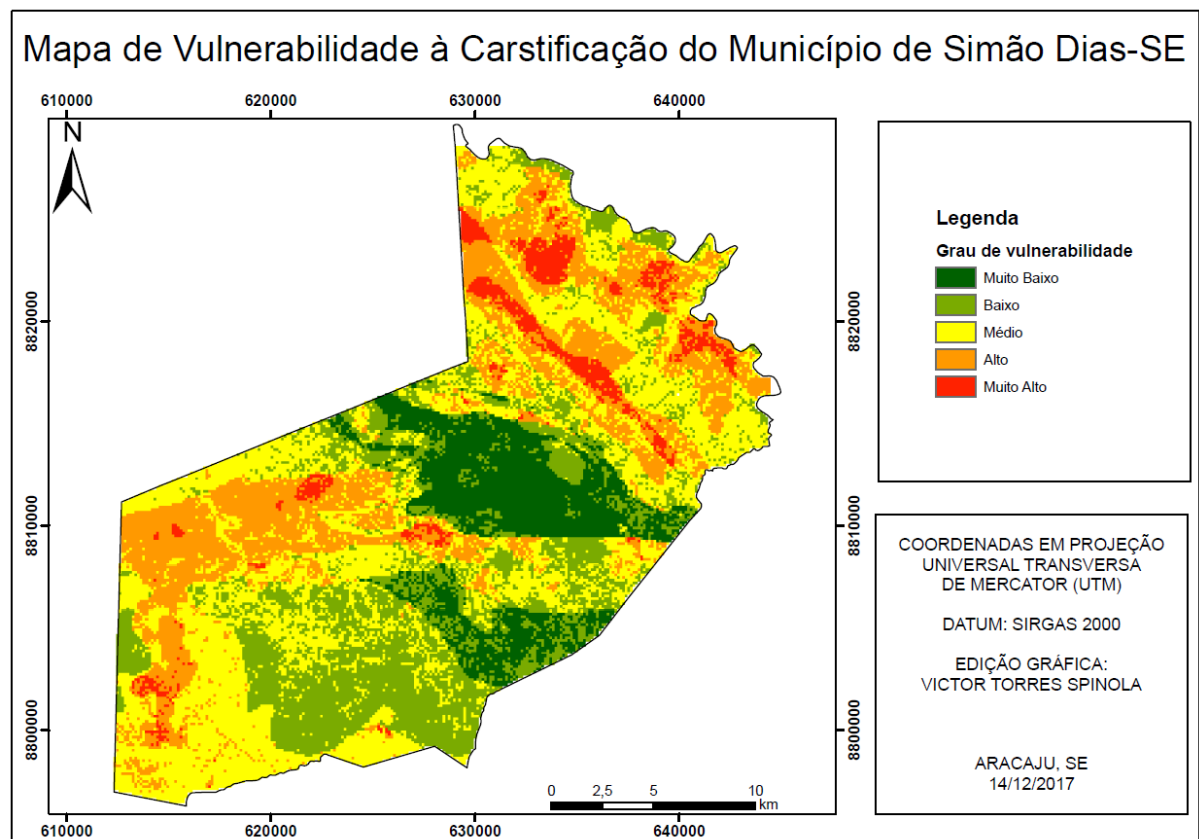


Figura 19 – Mapa de vulnerabilidade à carstificação do município de Simão Dias.

É possível inferir que as áreas onde há o maior grau de vulnerabilidade encontram-se na porção norte do município, sendo que no extremo norte isto ocorre em função da alta concentração de lineamentos e mais um pouco abaixo pela combinação de rochas carbonáticas da Formação Olhos d'Água e luvisolos. Há, também, zonas com alto grau de vulnerabilidade na porção sudoeste do município, estes têm como fator principal de vulnerabilidade a presença da Formação Olhos d'Água.

O resultado deste estudo é corroborado com a geração de um mapa associando a vulnerabilidade à carstificação e o patrimônio espeleológico catalogado pela organização não governamental CENTRO DA TERRA, 2016 (Figura 20).

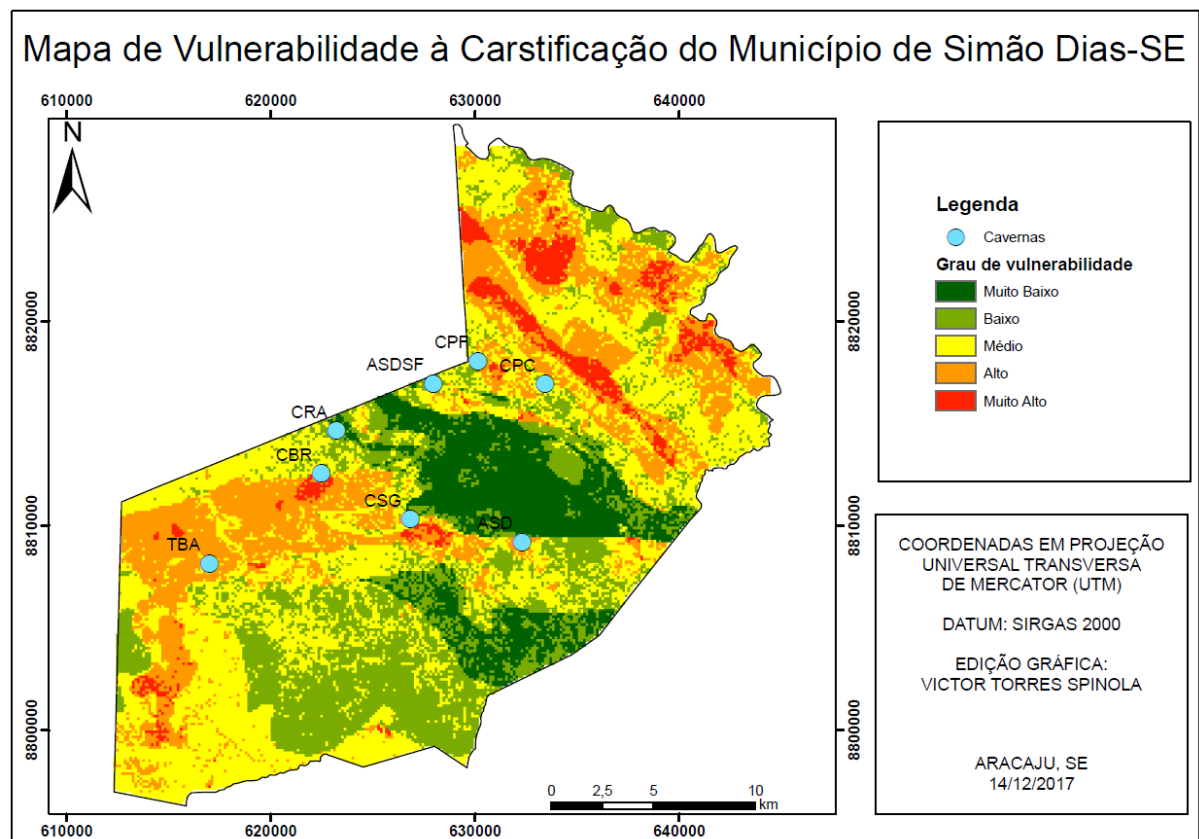


Figura 20 – Mapa de cavidades naturais e vulnerabilidade à carstificação do município de Simão Dias. Fonte: O Autor e CENTRO DA TERRA, 2016.

No mapa é possível deduzir que as cavidades naturais que já existem no município (Tabela 9) estão intimamente relacionadas com Formação Olhos d'Água (Figura 21).

Tabela 9 – Cavidades naturais do município de Simão Dias-SE

Cavidades Naturais	X	Y	Sigla
Raposa	623568,1	8814753,3	CRA
Simão Dias	632295,7	8809190,5	ASD
Brinquinho	622466,4	8812545,6	CBR
Tonho/Biê/Ailton	616983,1	8808141,6	TBA
Saco Grande	626832,4	8810317,5	CSG
Pau Ferro	630142,9	8818046,3	CPF
Portico/Cumbe	633419,9	8816927,6	CPC
Aperto/Sacrifício/Divisa/Suspiro/Fenda	627951,1	8816948,3	ASDSF

A caverna Brinquinho encontra-se numa área de muito alta vulnerabilidade; as cavernas Abismo de Simão Dias, Saco Grande, Pau Ferro; Tonho, Biê e Ailton (as últimas três ocorrem associadas) encontram-se em zonas de alto grau de vulnerabilidade. As cavernas Pórtico e Cumbe, que ocorrem associadas, encontram-se numa zona de média vulnerabilidade; as cavernas Aperto, Sacrifício, Divisa, Suspiro e Fenda, que ocorrem associadas, e a caverna da Raposa encontram-se em zonas de baixo grau de vulnerabilidade.

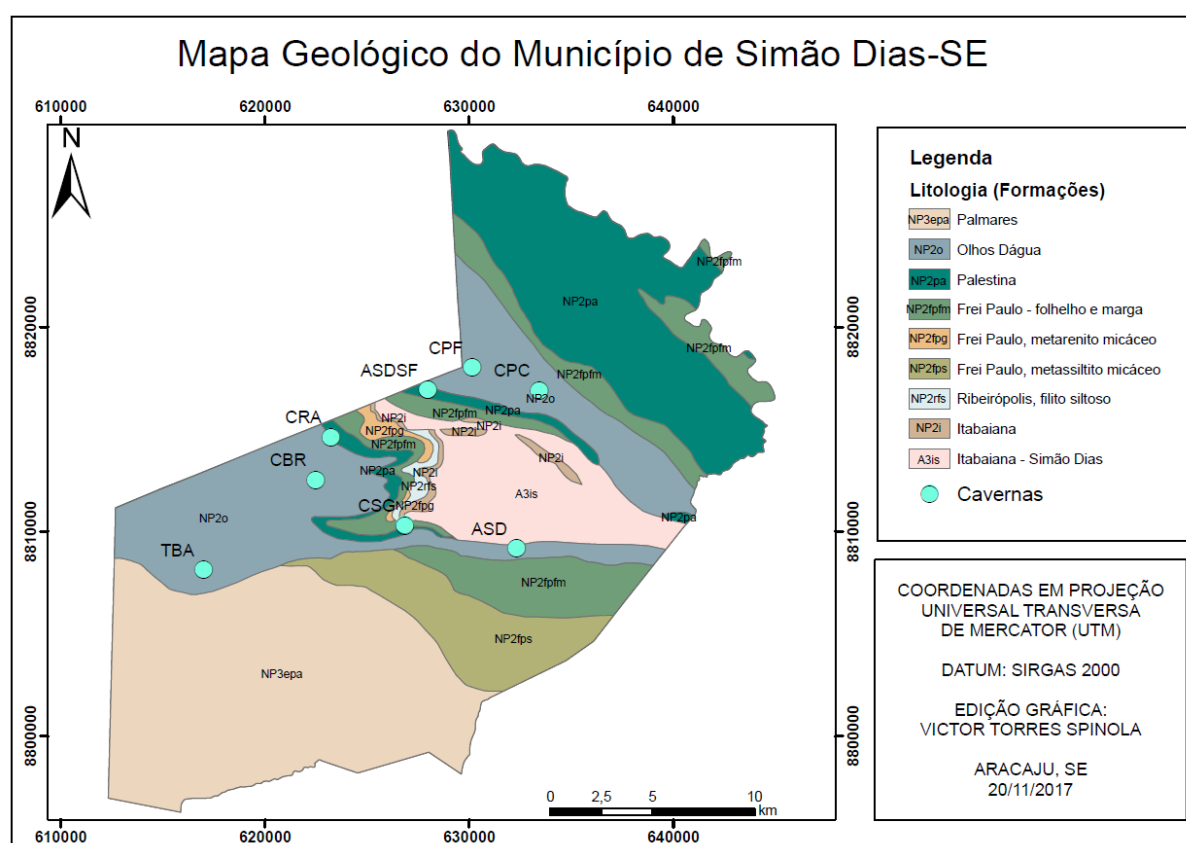


Figura 21 – Mapa de cavidades naturais e geológico do município de Simão Dias.

Fonte: CPRM, 1998 e CENTRO DA TERRA, 2016.

Visando embasar os resultados obtidos, foi feito controle de campo. Foram visitados sete pontos estratégicos cruzando a área de estudo, sendo cinco totalmente no município de Simão Dias, um no município de Poço Verde/SE e um no limite entre os municípios de Simão Dias e Pinhão/SE (Figura 22 e Anexo 6).

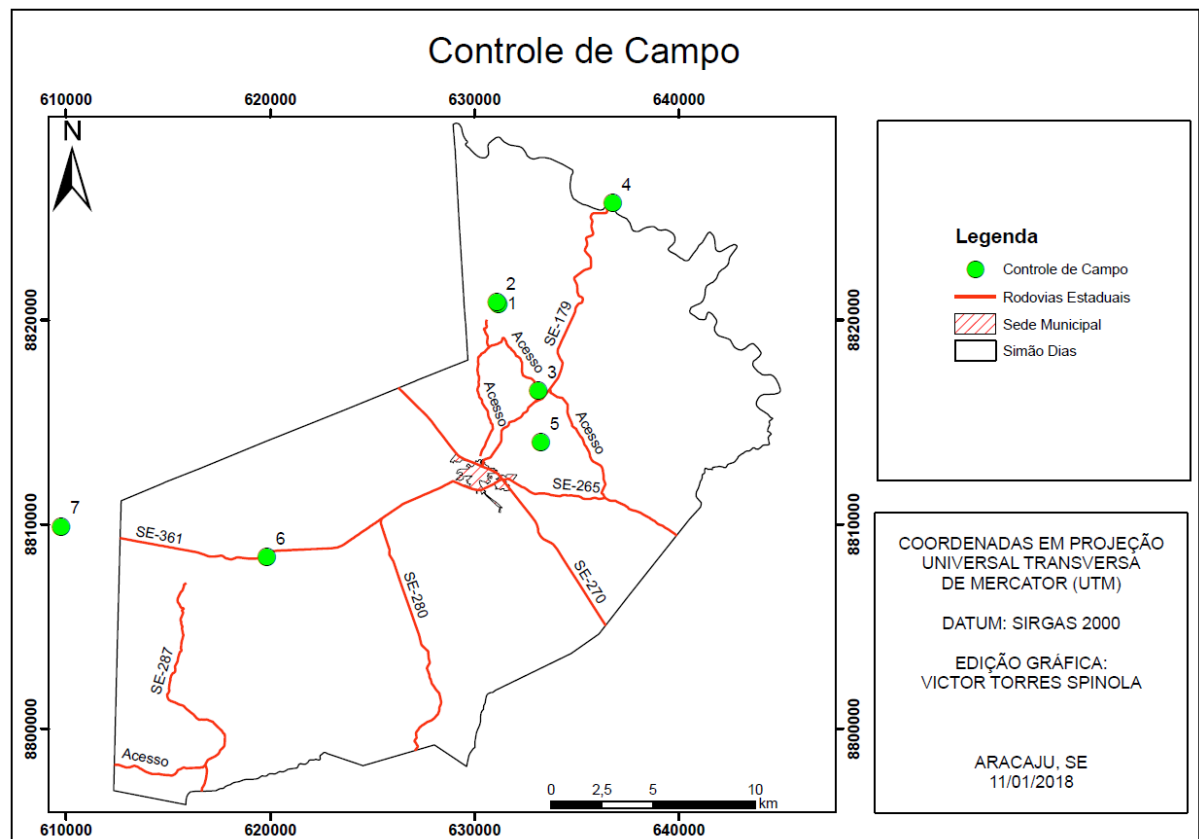


Figura 22 – Mapa de pontos onde foi realizado controle de campo.

Destes seis pontos que englobam o município de Simão Dias, dois estão localizados em zona de muito alta vulnerabilidade à carstificação e os restantes representam uma classe cada um (Figura 23).

Para o controle de campo, todos os pontos foram marcados de acordo com a projeção Universal Transversa de Mecator (UTM), no quadrante 24L. Todas as estruturas foram medidas utilizando-se bússola do tipo *Brunton* e valendo-se da regra da mão direita.

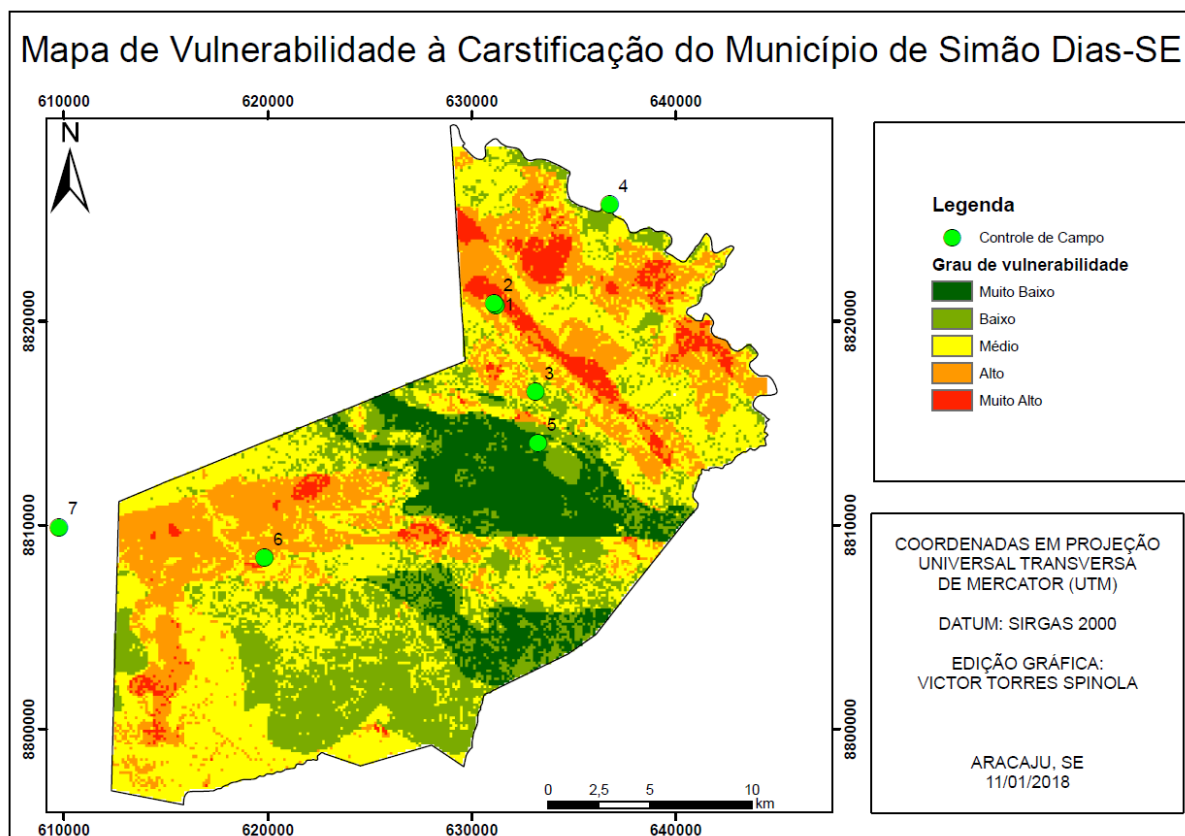


Figura 23 – Mapa de pontos onde foi realizado controle de campo associado ao mapa de vulnerabilidade à carstificação no município de Simão Dias.

O ponto 1, com coordenadas 631161/8820780, localiza-se numa região de vulnerabilidade muito alta, numa área de solo exposto da Formação Olhos d'Água, na unidade dos luvisolos, nos arredores da mina da Cal Trevo. Apesar de estar numa região com baixa densidade de lineamentos, a área encontra-se próxima ao lineamento que divide a Formação Olhos d'Água da Formação Frei Paulo.

Neste ponto foi localizada, numa rocha carbonática, fratura muito bem marcada, com atitude 235/71. Associada a ela, há uma fratura conjugada, menos exposta e preenchida por sedimento, com atitude 110/70 (Foto 1). Estas estruturas servem de condutos para infiltração de água contribuindo para o desenvolvimento do modelado cárstico na região.

Este local tinha indícios do contato litológico. Situado numa encosta de morro, faz vizinhança com uma grande planície, sendo esta a Formação Frei Paulo

(folhelho e marga), que por sua vez faz contato com uma região mais elevada no terreno, que é dada pela Formação Palestina (Foto 2).



Foto 1 – Fraturas conjugadas em rocha carbonática.



Foto 2 – Evidências de contato litológico.

Além disso, é possível inferir que mesmo em subsuperfície, a Formação Olhos d'Água controla diretamente a rede de drenagens da Formação Palestina. Portanto, influencia também na densidade de lineamentos do extremo norte do município de Simão Dias.

O ponto 2, com coordenadas 631085/8820866, situa-se próximo ao ponto 1, ainda numa região de muito alta vulnerabilidade à carstificação. Está localizado numa região de solo exposto da Formação Olhos d'Água, na unidade dos Luvisolos. A área se encontra próxima ao grande lineamento que divide a Formação Olhos d'Água da Formação Frei Paulo.

É dado por um afloramento do tipo corte de estrada, com atitude 350/51, que é constituído por intercalações de rochas carbonáticas (cinza escuro) e rochas siliciclásticas de granulometria fina (marrom) (Foto 3)

Há a presença de família de fraturas conjugadas com atitudes 258/79 e 320/65 (Foto 4). Este tipo de estrutura é um importante fator de controle para a geração de modelados cársticos.



Foto 3 – Intercalação entre camadas carbonáticas e siliciclásticas.



Foto 4 – Famílias de fraturas em afloramento.

O ponto 3, com coordenadas 631085/8820866, situado num local de média vulnerabilidade à carstificação, é localizado numa área de cultivo de milho, na Formação Olhos d'Água, na unidade dos luvisolos. A área se encontra próxima ao grande lineamento que divide a Formação Olhos d'Água da Formação Frei Paulo.

Neste local, encontra-se a Caverna do Pórtico (CENTRO DA TERRA, 2016) que se formou numa área de drenagem. Infelizmente, este local encontra-se com muito lixo de volta, o que acaba acelerando ainda mais o processo de erosão.

Esta caverna possui desenvolvimento na direção 270°, com presença de grandes fraturas no topo do carste, com direção 260/90 e 180/70 (Foto 5). O topo da caverna possui camadas com estratificação com atitude 350/66, porém os níveis inferiores encontram-se dobrados (Foto 6). Estas dobras são um registro da tectônica Brasileira que gerou a orogênese do Domo de Simão Dias, o qual se encontra muito próximo ao local.

É possível deduzir que as principais controladoras do desenvolvimento desta cavidade natural, além da rocha de composição carbonática, são as fraturas (Foto 5) e o acamamento, hoje recristalizado como foliação (Foto 6). Isto se explica, pois, o principal eixo de dissolução é transversal ao trend regional. Além disso, há a

presença de feições de percolação de fluidos, chamadas lapiás (Foto 7), e é possível diagnosticar os antigos níveis estáticos do aquífero (Foto 8).



Foto 5 – Desenvolvimento da caverna em fratura transversal ao acamamento/foliação.



Foto 6 – Camadas dobradas na parte inferior da caverna e cavidade controlada pelo acamamento/foliação.



Foto 7 – Lapiás na parte inferior da caverna.



Foto 8 – Antigos níveis estáticos do aquífero.

O ponto 4, com coordenadas 636755/8825720, é um afloramento do tipo corte de estrada no extremo norte do município de Simão Dias, no limite com a cidade de Pinhão. Trata-se de um local com baixa vulnerabilidade à carstificação, situado na Formação Palestina, na unidade dos neossolos e apresentando vegetação nativa. Encontra-se numa zona com densidade de lineamentos quase nula.

Este afloramento é constituído de rocha filítica, com atitude 120/66. Há a presença de fraturas com atitude 200/70 e veios de quartzo com atitude 305/85 (Foto 9).



Foto 9 – Rocha filítica com veios de quartzo.

O ponto 5, com coordenadas 633236/8814018, localiza-se numa área urbanizada, no topo do Domo de Simão Dias, na unidade dos neossolos, numa área de muito baixa vulnerabilidade à carstificação, pois se destacam rochas quartzíticas, que realçam o relevo. Encontra-se numa zona de baixa densidade de lineamentos.

O local é chamado Serra do Cruzeiro, e conta com um mirante (Foto 10), alguns restaurantes, estações de rádio e provedores de internet.



Foto 10 – Mirante da Serra do Cruzeiro. Fonte: www.jornalsimaodiense.com.

O ponto 6, com coordenadas 619818/8808398, está localizado na Formação Olhos d'Água, na unidade dos cambissolos e com uso para pastagem, numa área de alta vulnerabilidade à carstificação. Encontra-se numa zona de muito baixa densidade de lineamentos, porém todo o entorno desta área é de densidade próxima a nulo.

Trata-se de um afloramento de rocha carbonática do tipo lajedado, com atitude 230/60, encontrado parcialmente recoberto por matéria orgânica.

Estas rochas encontram-se em avançado estágio de erosão, estando muito bem marcadas por lapiás e apresentando fraturas conjugadas com atitude 240/68 e 130/55 (Foto 11). Os lapiás seguem um padrão de formação, concordante com a estratificação e com as fraturas. Algumas fraturas encontram-se em estágio avançado de formação. A presença destes tipos de estruturas indica que elas atuaram como controle no desenvolvimento do modelado cárstico.

Também é possível deduzir que a interação entre as raízes das plantas com os ácidos orgânicos por elas produzidos atuaram como controladoras no desenvolvimento do modelado cárstico (Foto 12).



Foto 11 – Lapiás e fraturas conjugadas bem desenvolvidas.



Foto 12 – Rocha carbonática apresentando erosão por raízes e ácidos orgânicos.

O ponto 7, com coordenadas 609755/8809886, localiza-se no município de Poço Verde/SE, portanto, não é possível tipificar um nível exato de vulnerabilidade à carstificação, uso do solo e densidade de lineamentos para o local.

O local encontra-se na Formação Olhos d'Água e na unidade dos planossolos e se trata de um afloramento do tipo lajedo de rochas carbonáticas, tendo sua foliação com atitude 325/89 e presença de fraturas conjugadas com atitude 60/89, 107/89 e 022/32. Há um modelamento cárstico do tipo abismo (Fotos 13 e 14) muito bem definido, de postura subverticalizada, controlado pela foliação e/ou pelas fraturas.

O local possui feições cársticas em estágio avançado e acaba sendo usado, assim como a Caverna do Pórtico, como depósito de lixo. O ácido orgânico produzido pelas raízes das plantas que se desenvolvem sobre essas rochas contribui para dissolução da rocha carbonática.



Foto 13 – Fraturas subverticais controlam os desenvolvimentos tipo abismo.



Foto 14 – Modelado cárstico do tipo abismo.

8. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o resultado deste trabalho, o mapa de vulnerabilidade à carstificação no município de Simão Dias, é compatível com a realidade. Apesar das cavidades naturais não se localizarem todas em áreas de alta ou muito alta vulnerabilidade, tem-se um resultado representativo nas áreas de ocorrência de rochas carbonáticas.

Esta representatividade deduz-se pelo fato de mesmo quando não há cavidades naturais, há evidências de que as áreas de muito alta, alta e até mesmo média vulnerabilidade desenvolvem feições e estruturas cársticas que variam de embrionárias, como no caso do ponto 2 do controle de campo até cavidades naturais bastante desenvolvidas, como no caso do ponto 3.

Contudo, podemos deduzir que o fator fundamental para o controle da formação de modelados cársticos é a geologia e as estruturas. Visto que todas as feições cársticas encontradas no controle de campo situavam-se apenas na Formação Olhos d'Água, composta por rochas carbonáticas, seguindo fraturas ou o acamamento/foliação. O ácido carbônico produzido pelas raízes das plantas que se desenvolvem sobre essas rochas também contribui para dissolução e o desenvolvimento do modelado cárstico.

Foi possível diagnosticar outros fatores que influenciam na geração de modelados cársticos, como ocupação do solo, tipo de solo, proximidade de rede de drenagens, densidade de lineamentos.

Foi constatado que o centro da cidade de Simão Dias, onde há a maior concentração populacional, encontra-se numa região com muito baixa vulnerabilidade à carstificação, por localizar-se no Domo de Simão Dias. Porém, há diversos povoados que se encontram em zonas de alta a muito alta vulnerabilidade, como nos casos dos povoados Triunfo e Brinquinho.

Portanto, este mapa serve como embasamento para a compreensão da formação e preservação ambiental dos carstes e rochas carbonáticas da região, além de servir de ferramenta de fomento à ocupação territorial com segurança.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; BRITO NEVES, B. B.; DEL REY.C.C. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth-Science Reviews*, v. 50, n. 1, p. 77-111. 2000.
- ALMEIDA, T.; MENESES, P, R. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. 2012.
- ASSAD, M.L.L.; HAMADA, E.; LANA, J.T.O. Álgebra de mapas de atributos de solos para estimativa da aptidão agrícola das terras. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3479-3486.
- BELUCO, A. Classificação de imagens de sensoriamento remoto baseada em textura por redes neurais, *Dissertação UFRGS*. 2002.
- BIGARELLA, J. J. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: Ed. UFSC, 1996.
- BILLING, G. K. The kinetics of mineral dissolution in carbonate aquifers as a tool for a hydrological investigations, I: concentration-time relationship. *Jornal of hydrology*, v. 24, p. 303-331, 1975.
- BÖGLI, A. *Karst Hydrology and Physical Speleology*. Berlin, Springer-Verlag: 1980.
- BRITO NEVES, B.B., SIAL, A. N., BEURLIN, H,. O sistema de dobramentos sergipano—Análise do conhecimento. SBG, Núcleo Bahia. *Boletim Especial* 3, 369-398. 1978.
- CÂMARA, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. Tese de doutoramento em computação aplicada, São José dos Campos, INPE, 1995.
- CARVALHO JUNIOR, O, A., BERBET-BORN, M., MARTINS, E, S., GUIMARÃES, R, F., GOMES, R, A, T., Cap. 7. Ambientes Cárstico. FLORENZZANO, T, C (ORG), *Geomorfologia e Tecnologias Atuais*. 1ª Edição, Oficina de Texto. 2008
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; AZEVEDO, L. G. DE.; HERNANDEZ Filho, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001.
- COSTA, B, R. Aproveitamento das águas subterrâneas na região metropolitana de Belém (rmb) de forma sistemática., *DISSERTAÇÃO DE MESTRADO*, UNAMA BELÉM, 2009
- CENTRO DA TERRA, Grupo Espeleológico de Sergipe, 2016.

CONCEIÇÃO, R. A. C.; SILVA, A. Q. Extração automática de lineamentos utilizando imagens SRTM, Landsat ETM+ e ALOS PALSAR na região de Nobres, MT. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu. 2013.

DAVISON, I.; SANTOS, R.A., Tectonic Evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny. *Precambrian Research* v. 45, p. 319-342. 1989.

D'EL-REY SILVA, L.J.H. Basin infilling in the southern-central part of the Sergipano Belt (NE Brazil) and implications for the evolution of Pan-African/Brasiliano cratons and Neoproterozoic cover. *Journal of South American Earth Sciences* n. 12, p.453-470. 66. 1999.

D'EL-REY SILVA, L.J.H. Tectonic evolution of the Sergipano Belt, NE Brazil. *Revista de Geociências* v; 25, p. 315-332. 1995.

D'EL-REY SILVA, L.J.H. Tectonic evolution of the southern part of the Sergipano Fold Belt, northeastern Brazil. Unpublished PhD Thesis, Royal Holloway University of London, 257. 1992.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS, 2006.

FERNANDES F.A. Geoprocessamento aplicado à criação de mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa: o caso do morro do bairro de Mãe Luiza. Monografia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Bacharelado em Engenharia Civil. Natal, RN, 2017.

FLORES, P. M. Análise Multitemporal do avanço da fronteira agrícola do município de Barreiras – BA, Dissertação, UNB, 2011.

FORD, D.; WILLIAMS, P. Karst Geomorphology and Hydrology. London, Unwin Hyman: 1989.

FORTES, F.P. Aspectos geológicos e espeleológicos na porção Sergipana do Domínio Vaza Barris. Monografia, Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Geologia, São Cristóvão, SE, 2016.

FRAGA, T.C.; NADAL, C.A; GIUSTI, D.A, Uma aplicação do reconhecimento automatizado de redes de drenagem utilizando modelo digital de terreno. In: ANAIS DO COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba..

GAMS, J. The polje: the problem of definition. *Z Geomorphol.*, V 55, p. 1429-1440, 1978.

HARDT, R. Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário – Cocalinho – MT. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado em Organização do Espaço) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

HUMPREY, F.L., ALLARD, G.O. Geology of the Itabaiana Dome Area (Sergipe) and its bearing on the geology of the Propriá Geosyncline: a newly recognized tectonic element in the Brazilian Shield. Petrobrás, CENPES, Rio de Janeiro, 104p. 1969.

JANSEN, D.C.; GOMES, M.; SANTOS, D.J.; CAVALCANTI, L.F. Mapa de vulnerabilidade natural do patrimônio espeleológico da região de abrangência do PAN Cavernas do São Francisco. Revista Brasileira de Espeleologia – RBEsp, v. 1, n. 4, 2014.

JENNINGS, J. N. Karst Geomorphology. Glasgow, Basil Blackwell (ed.): JENSEN, J.R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução português 2 Ed. Parentese Editora. São José dos Campos SP, 2009. 598p. 1985.

KRESIC, N. R. Remote sensing of tectonic fabric controlling groundwater flow in Dinaric Karst. Remote sensing of environment, v. 53, p. 85-90, 1995.

LATTMAN, L. H.; PARIZEK, R. R. Relationship between fracture traces and the occurrence of ground-water in carbonate rocks. Journal of Hydrology, v. 2, p. 73-91, 1964.

LANDSAT SCIENCE, 2014. Disponível em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>. Acessado em 14 de dezembro de 2017.

MACHADO, L.N.; LOSS, A.; BACIC, I.L.Z.; DORTZBACH, D.; LALANE, H.C. Vulnerabilidade à perda de solo na microbacia Lajeado Pessegueiro, Brasil. Scientia Agropecuaria 8(2): 159 – 168 (2017).

MERCADO, A, The kinetics of mineral dissolution in carbonate aquifers as a tool for a hydrological investigation, II: hydrogeochemical models. Journal of hydrology, v. 24, p. 365-84, 1977.

MORSE, J.W.; ARVIDSON, R. S. the dissolution kinetic of major sedimentary carbonate minerals Earth-science Reviews, v. 58, p. 51-84, 2002.

MOURA, N. S. V.; DIAS, T. S. Elaboração do Mapa Geomorfológico do Município de Porto Alegre - RS. 1. ed. Porto Alegre: UFRS, 2012. v.34, 156p.

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Ed. Edgard Blucher Ltda, 3a Edição, São Paulo, p; 363 2008.

OLIVEIRA, E.P. Geological evolution of the Sergipano belt, southern boundary of the Borborema Province. Workshop on the Precambrian Geology of the Borborema Province, Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas, Abstracts, 06 14-15. (in Portuguese). 2008

PALMER, A. N. Origin and Morphology of Limestone Caves. Geological Society of America Bulletin, v. 103, pag. 1-25: 1991.

PEREIRA, F. S.; CONCEIÇÃO, J. A.; M. L. S. ROSA; H. CONCEIÇÃO. 2017. Stock Lagoa de Dentro, Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano: Geologia, Petrografia e Geoquímica. Scientia Plena, 13 (02).

PILÓ, L. B. Revisão de Literatura - Geomorfologia Cárstica. Revista Brasileira de Geomorfologia, Vol 1, no 1 p. 88-122:2000.

RIBEIRO, S.L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.11, n.6, p.628–636, 2007 Campina Grande, PB, UAEAg/UFCG

RODRIGUEZ, A.C.M. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na análise da legislação ambiental no município de São Sebastião (SP), São Paulo. 2005. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2005.

ROSA, R.; BRITO, J.L.S. Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica. Uberlândia, Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 1996.

SANTOS, R.A., MARTINS, A.A.M., NEVES, J.P., Geologia e recursos minerais do estado de Sergipe. Brazilian Geological Survey (CPRM), Salvador, Brazil. 1998.

SEMARH. Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Atlas de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe. Aracaju, 2014.

SILVA FILHO, M. A.; BOMFIM, L. F. C.; SANTOS, R. A. Projeto Baixo São Francisco/Vaza-Barris: Geologia da Geossinclinal Sergipana e do seu Embasamento. Relatório Final. Salvador: CPRM, 1977.

SILVA, L.P. Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa, 2007.

SUMMERFIELD, M. A. Global geomorphology: na introduction to the study of landforms. Singapure: Longman Singapure Publishers, 1991.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ESPELEOLOGIA (SBE), 2016

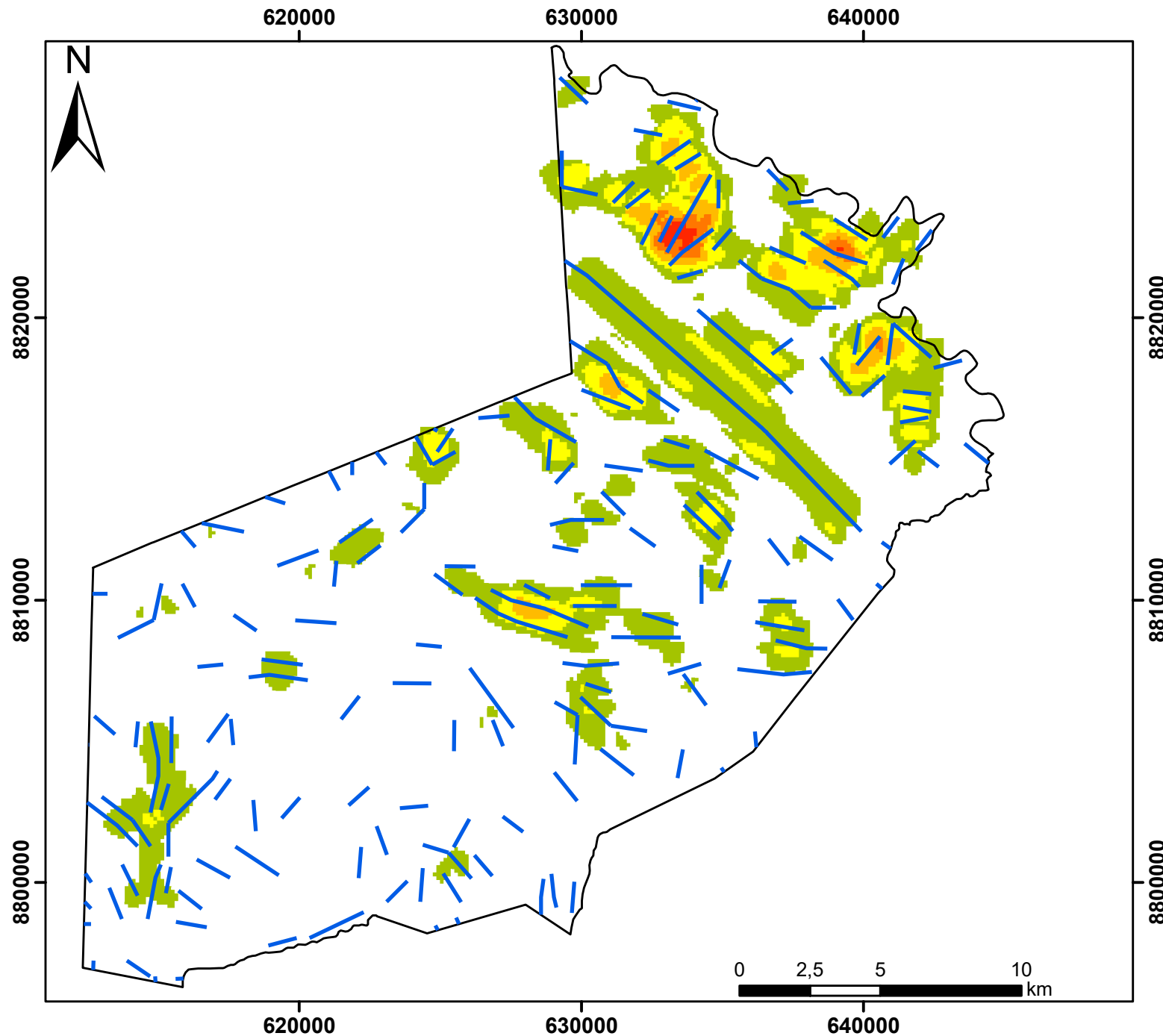
TOMLIN, C.D; Geographic Information Systems and Cartographic Modelling. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

TRUGGILL, S. Limestone geomorphology. New York: Longman, 1985.

WHITE, W. B. Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. New York, Oxford University Press: 1988.

Anexo 1 – Mapa de Densidade de Lineamentos do Município de Simão Dias-SE.

Mapa de Densidade de Lineamentos do Município de Simão Dias-SE



Legenda

— Lineamentos

Densidade de Lineamentos

□ Próximo a Nulo

■ Muito Baixo

■ Baixo

■ Médio

■ Alto

■ Muito Alto

COORDENADAS EM PROJEÇÃO
UNIVERSAL TRANSVERSA
DE MERCATOR (UTM)

DATUM: SIRGAS 2000

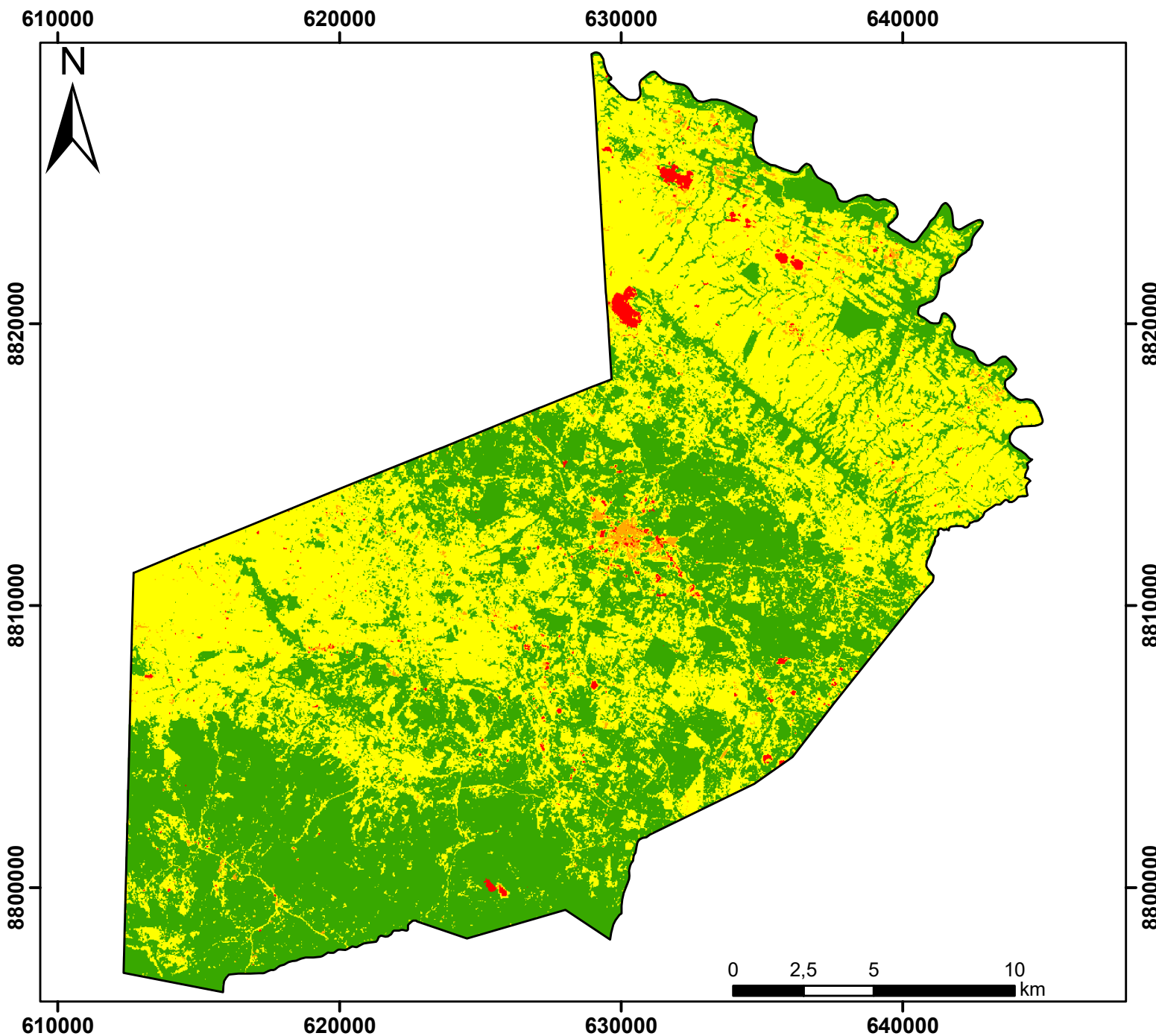
EDIÇÃO GRÁFICA:
VICTOR TORRES SPINOLA

ESCALA: 1:200.000

ARACAJU, SE
14/12/2017

Anexo 2 – Mapa de Uso do Solo do Município de Simão Dias-SE.

Mapa de Uso do Solo do Município de Simão Dias-SE



Legenda

-  Ação Antrópica
-  Vegetação Nativa
-  Cultivos e Pastagens
-  Solos Expostos

COORDENADAS EM PROJEÇÃO
UNIVERSAL TRANSVERSA
DE MERCATOR (UTM)

DATUM: SIRGAS 2000

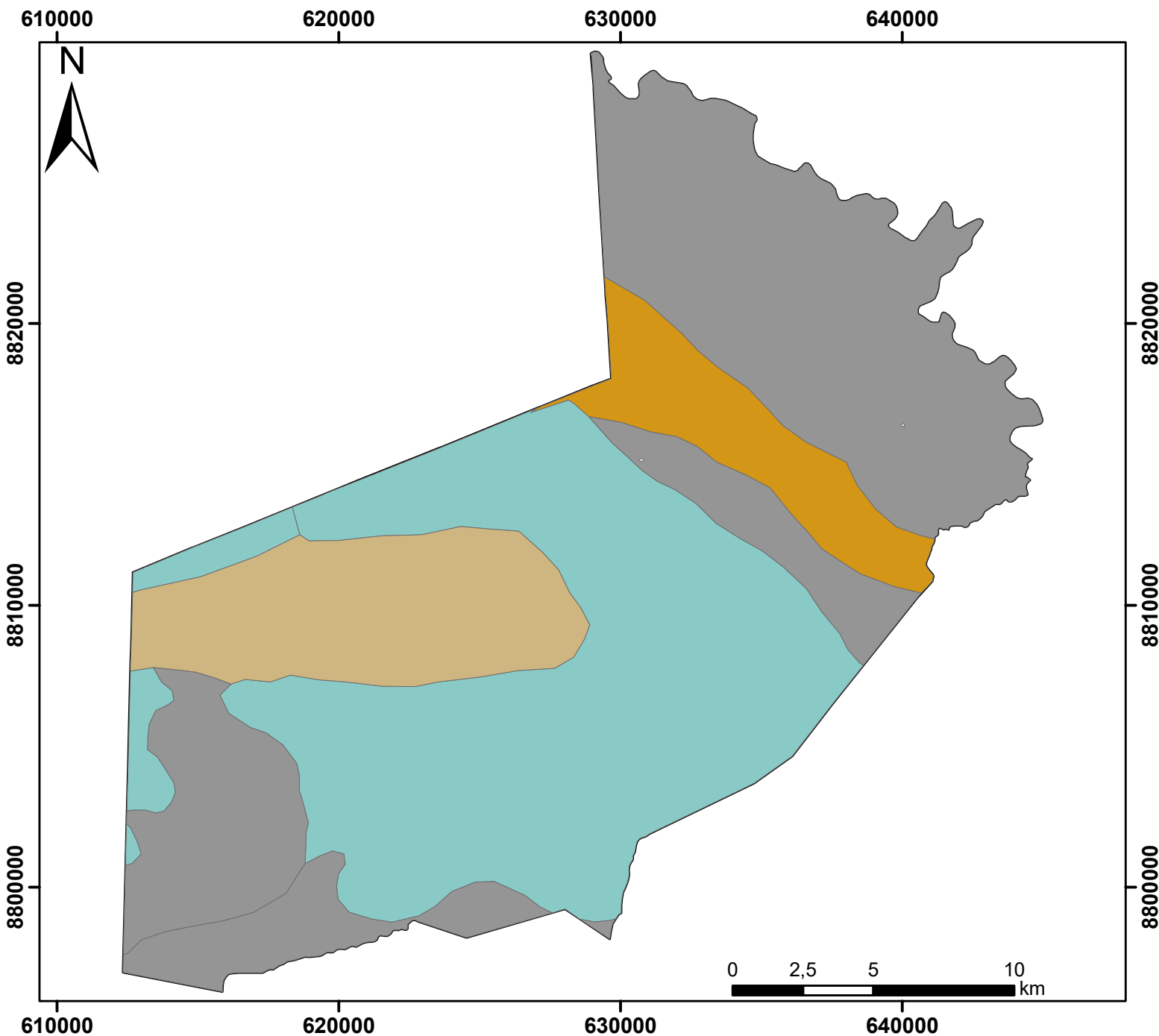
EDIÇÃO GRÁFICA:
VICTOR TORRES SPINOLA

ESCALA: 1:200.000

ARACAJU, SE
14/12/2017

Anexo 3 – Mapa Pedológico do Município de Simão Dias-SE.

Mapa Pedológico do Município de Simão Dias-SE



Legenda

Tipo de Solo

- Cambissolos
- Luvisolos
- Neossolos
- Planossolos

COORDENADAS EM PROJEÇÃO
UNIVERSAL TRANSVERSA
DE MERCATOR (UTM)

DATUM: SIRGAS 2000

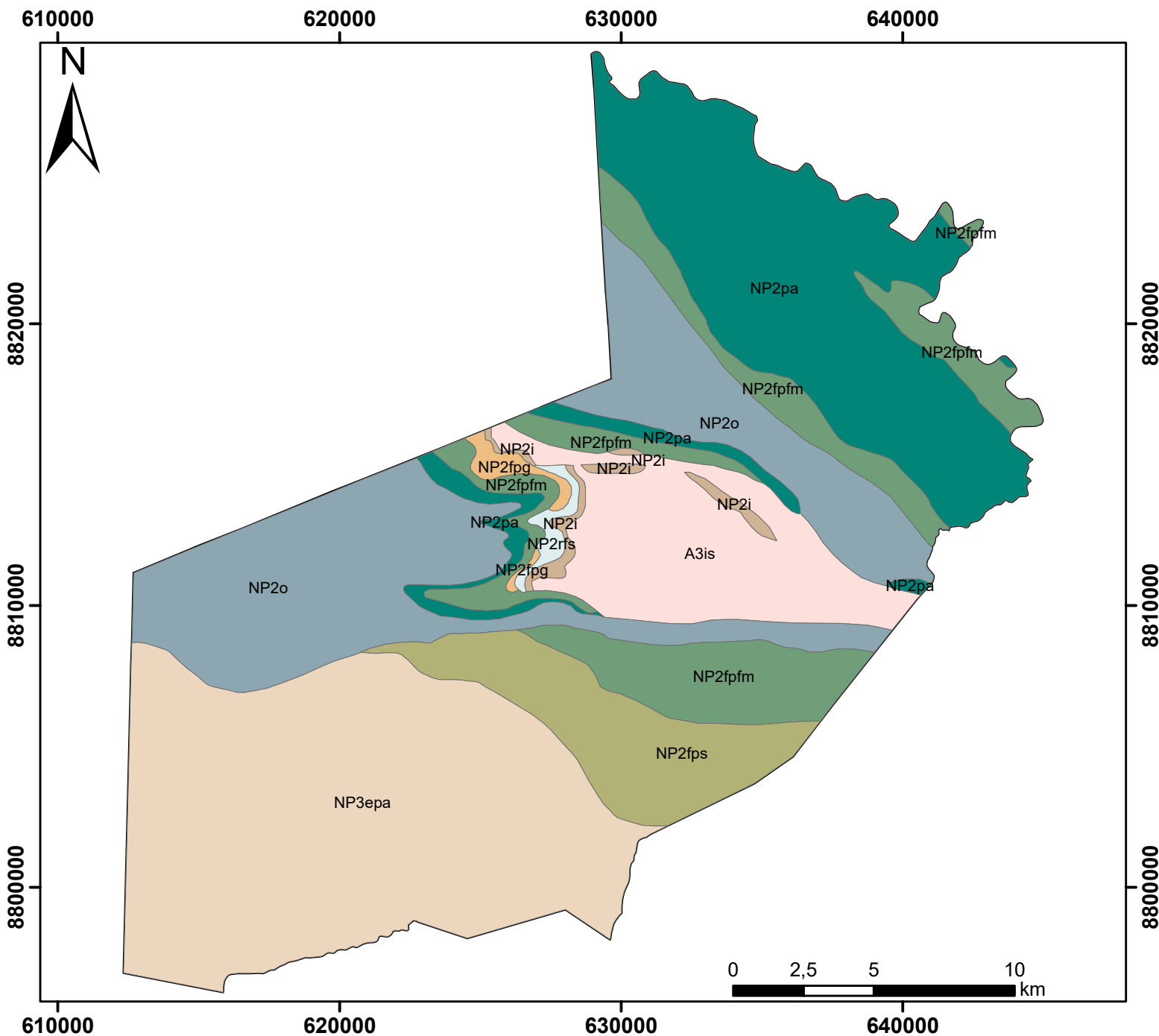
EDIÇÃO GRÁFICA:
VICTOR TORRES SPINOLA

ESCALA: 1:200.000

ARACAJU, SE
30/10/2017

Anexo 4 – Mapa Geológico do Município de Simão Dias-SE.

Mapa Geológico do Município de Simão Dias-SE



Legenda

Litologia (Formações)

- NP3epa Palmares
- NP2o Olhos D'água
- NP2pa Palestina
- NP2fpm Frei Paulo - folhelho e marga
- NP2fpg Frei Paulo, metarenito micáceo
- NP2fps Frei Paulo, metassiltito micáceo
- NP2rfs Ribeirópolis, filito siltoso
- NP2i Itabaiana
- A3is Itabaiana - Simão Dias

COORDENADAS EM PROJEÇÃO
UNIVERSAL TRANSVERSA
DE MERCATOR (UTM)

DATUM: SIRGAS 2000

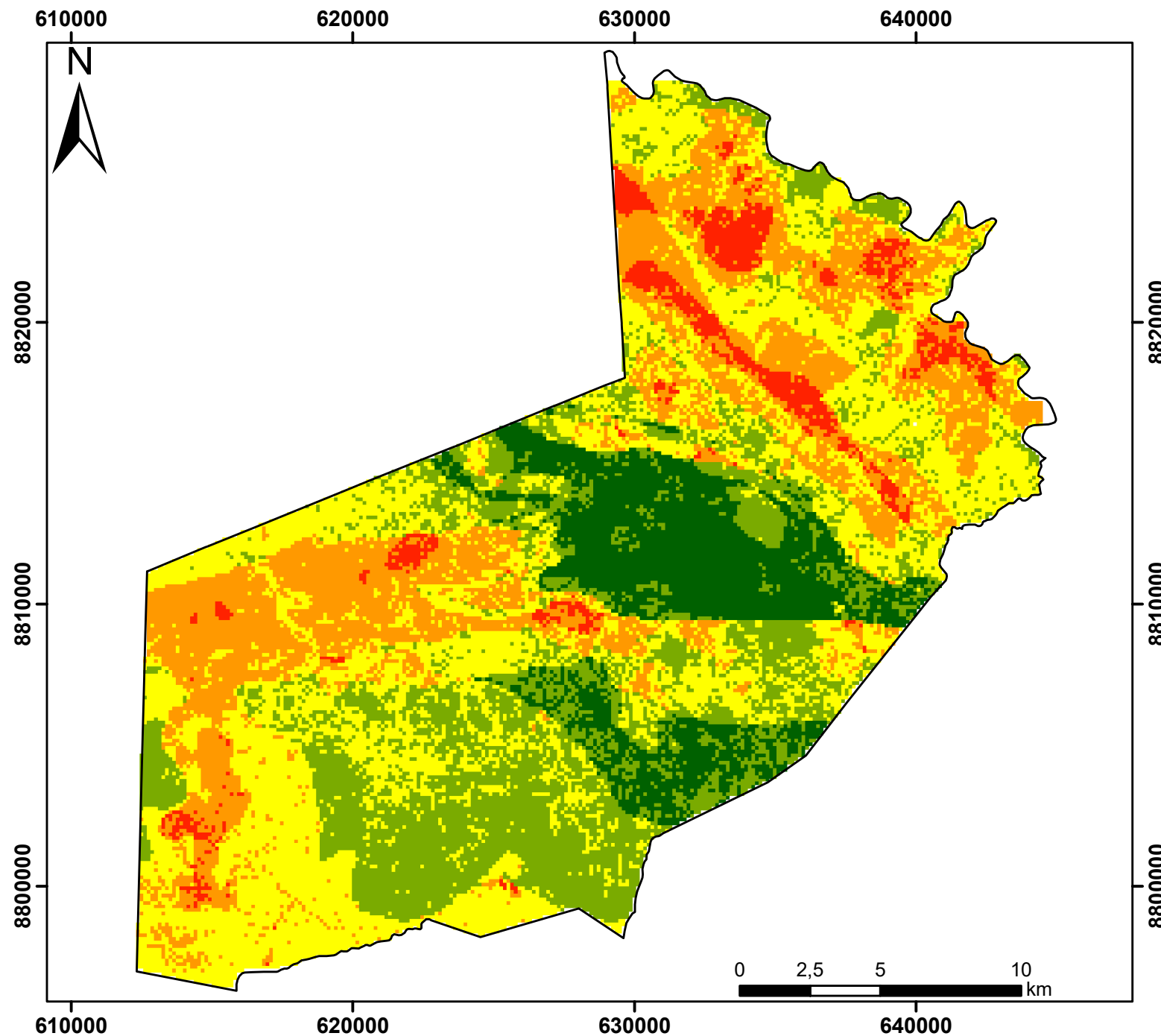
EDIÇÃO GRÁFICA:
VICTOR TORRES SPINOLA

ESCALA: 1:200.000

ARACAJU, SE
20/11/2017

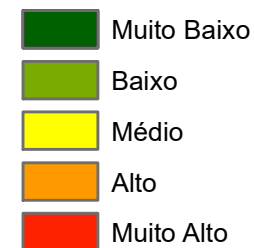
Anexo 5 – Mapa de Vulnerabilidade à Carstificação do Município de Simão Dias-SE.

Mapa de Vulnerabilidade à Carstificação do Município de Simão Dias-SE



Legenda

Grau de vulnerabilidade



COORDENADAS EM PROJEÇÃO
UNIVERSAL TRANSVERSA
DE MERCATOR (UTM)

DATUM: SIRGAS 2000

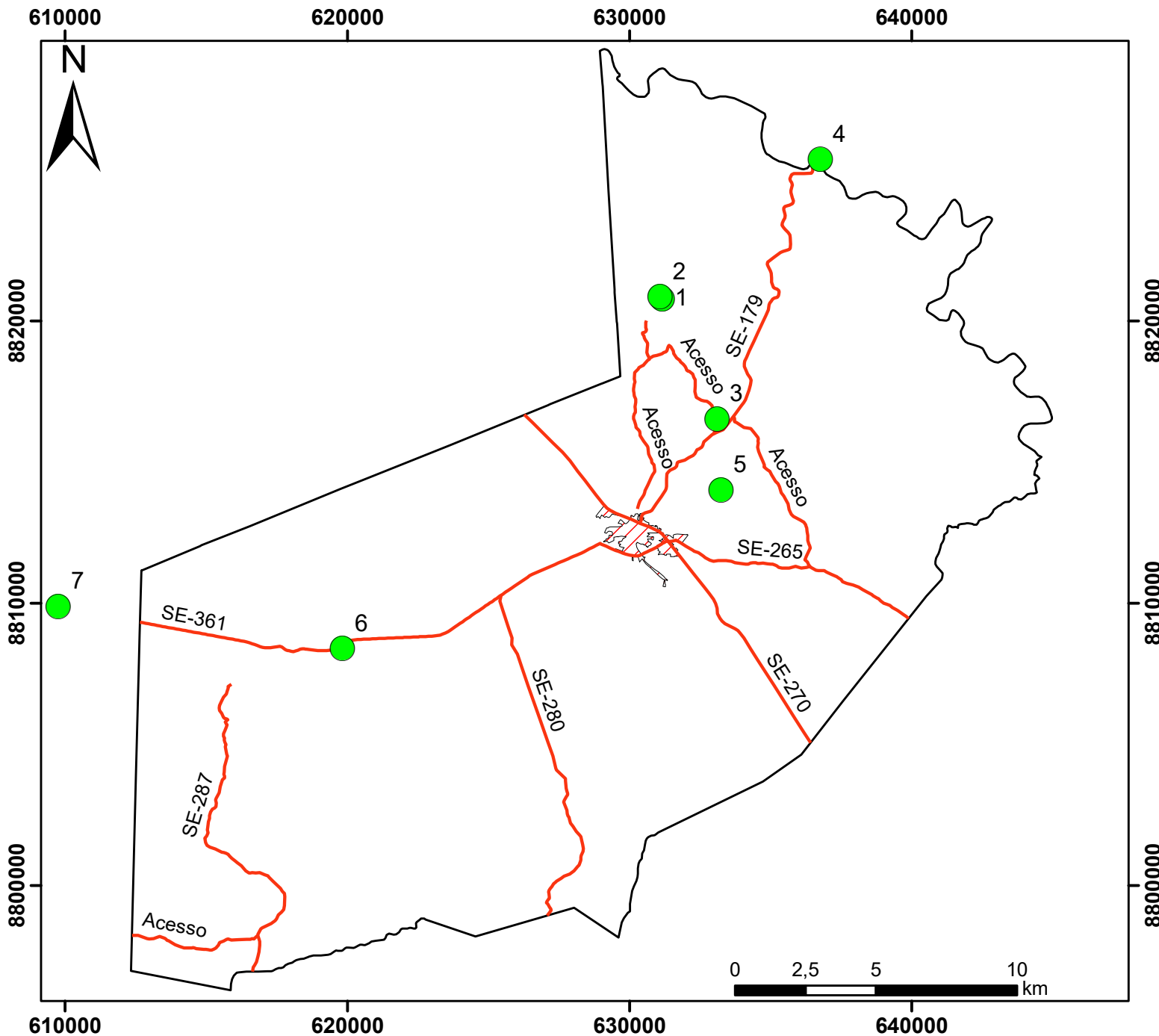
EDIÇÃO GRÁFICA:
VICTOR TORRES SPINOLA

ESCALA: 1:200.000





ARACAJU, SE
14/12/2017

Anexo 6 – Mapa de pontos onde foi realizado controle de campo.

Controle de Campo



Legenda

-  Controle de Campo
-  Rodovias Estaduais
-  Sede Municipal
-  Simão Dias

COORDENADAS EM PROJEÇÃO
UNIVERSAL TRANSVERSA
DE MERCATOR (UTM)

DATUM: SIRGAS 2000

EDIÇÃO GRÁFICA:
VICTOR TORRES SPINOLA

ESCALA: 1:200.000

ARACAJU, SE
11/01/2018